



SKRIPSI – TK 141581

**KONVERSI MINYAK BIJI KAPUK (*CEIBA PENTANDRA*)
MENJADI *BIOFUEL* MELALUI PROSES
HYDROCRACKING MENGGUNAKAN KATALIS LOGAM
GANDA BERBASIS HZSM-5**

Oleh:

**Putri Ragefa Arumingsari
NRP. 0221144000022**

**Yahya Adi
NRP. 02211446000113**

**Dosen Pembimbing
Ir. Ignatius Gunardi, M.T
NIP. 1955 09 21 1984 03 1001**

**Firman Kurniawansyah, ST, M.Eng, Sc, Ph.D
NIP. 1977 05 29 2003 12 1 002**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

KONVERSI MINYAK BIJI KAPUK (*CEIBA PENTANDRA*) MENJADI *BIOFUEL* MELALUI PROSES *HYDROCRACKING* MENGGUNAKAN KATALIS LOGAM GANDA BERBASIS HZSM-5

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi S-1
Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Putri Ragefa Arumingsari

02211440000022

Yahya Adi

02211440000113

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Ignatius Gunardi, M.T
(Pembimbing I)
2. Firman Kurniawansyah, S.T, M.Eng.Sc., PhD
(Pembimbing II)
3. Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA
(Penguji I)
4. Dr. Eva Oktavia Ningrum, S.T., M.S
(Penguji II)
5. Juwari, S.T, M.Eng.Sc., PhD
(Penguji III)



[Handwritten signatures of the examiners]

KONVERSI MINYAK BIJI KAPUK (*CEIBA PENTANDRA*) MENJADI BIOFUEL MELALUI PROSES *HYDROCRACKING* MENGGUNAKAN KATALIS LOGAM GANDA BERBASIS HZSM-5

Nama : Putri Ragefa Arumingsari (02211440000022)

Yahya Adi (02211440000113)

Dosen Pembimbing: Ir. Ignatius Gunardi M.T

Firman Kurniawansyah, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D

Abstrak

*Produksi industri minyak bumi nasional semakin hari semakin menurun. Sumber energi alternatif sangat diperlukan sebagai pengganti bahan bakar dengan menggunakan minyak nabati yang biasa disebut dengan biofuel. Penelitian ini memiliki tujuan umum yaitu untuk mempelajari pengaruh rasio perbandingan impregnasi pada HZSM-5, untuk mempelajari pengaruh % loading logam Zn dan Mo yang diimpregnasikan pada katalis HZSM-5 dan pengaruh suhu reaksi dalam proses catalytic hydrocracking minyak biji kapuk randu (*Ceiba pentandra*) terhadap nilai yield yang dihasilkan pada reaktor batch. Pada tahap pembuatan katalis Zn-Mo/HZSM-5 terjadi penurunan luas permukaan katalis seperti yang ditunjukkan oleh hasil analisa BET (Brunauer-Emmett-Teller) untuk katalis Zn-Mo/HZSM-5 dengan % loading 10% dan 5%. Difraktogram yang dihasilkan dari analisa XRD (X-Ray Diffraction) menunjukkan puncak - puncak dari penyangga HZSM-5, logam Mo, oksida logam ZnO, oksida logam MoO₂. Hal ini menunjukkan bahwa impregnasi logam Zn dan Mo tidak merubah struktur kristalinitas dari HZSM-5. Katalis yang dihasilkan digunakan dalam uji aktivitas katalis melalui proses catalytic hydrocracking minyak biji kapuk randu kemudian produk yang dihasilkan dianalisa menggunakan GCMS (Gas Chromatography - Mass Spectrofotometry) untuk mengetahui kandungan senyawa*

hidrokarbon yang terdapat produk. Pada uji katalitik nilai yield kerosene terbaik diperoleh pada penggunaan katalis Zn-Mo/HZSM-5 dengan % loading 10% dan rasio (1:4) yaitu 38.32%, sedangkan untuk yield gasoil terbaik diperoleh pada penggunaan katalis Zn-Mo/HZSM-5 dengan % loading 10% dan rasio (1:3) yaitu 24.64%.

Kata Kunci : *biofuel, minyak biji kapuk randu (Ceiba pentandra), catalytic hydrocracking, Zn-Mo/HZSM-5.*

HYDROCRACKING OF KAPUK RANDU OIL SEED TO PRODUCE BIOFUEL WITH BIMETALIC CATALYST OVER HZSM-5

Name : Putri Ragefa Arumingsari (02211440000022)
Yahya Adi (02211440000113)
Advisor : Ir. Ignatius Gunardi M.T
Firman Kurniawansyah, S.T., M.Eng, Sc., Ph.D

Abstract

National petroleum industry's production is decrease daily, so Alternative energy sources really needed as a substitute for fuel by using vegetable oils commonly referred to as biofuels. This research has a general purpose of studying the effect of ratio impregnated on H-ZSM-5, studied the effect of %loading of Zn and Mo metal that impregnated on H-ZSM-5 catalyst and the effect of reaction temperature in catalytic hydrocracking process of kapuk (Ceiba pentandra) seed oil against the yield value that produced in batch reactor. At the Zn-Mo/H-ZSM-5 catalyst preparation step, there was decreasing of catalyst surface area that determined by BET (Brunauer-Emmett-Teller) analysis for Zn-Mo/H-ZSM-5 catalysts with 10% loading and 5% loading. The XRD (X-Ray Diffraction) diffractogram showed the identical peaks from H-ZSM-5, Mo metal, ZnO metal oxide, MoO₂ metal oxide. This indicated that Zn and Mo metals impregnation didn't change the cristalinity sructure of H-ZSM-5. The obtained catalysts were used in the catalytic activity test through catalytic hydrocracking process of the kapuk randu seed oil and the obtained products were analyzed using GCMS (Gas Chromatography - Mass Spectrophotometry) to determine the hydrocarbon content of the product. In the catalytic hydrocracking test, the best of kerosene yield were obtained on the use of Zn-Mo / H-ZSM-5 catalyst with 10% loading% and ratio (1: 4) i.e. 38.32%, and the best of gasoil yield were

obtained on the use of Zn-Mo / H-ZSM-5 catalyst with 10% loading% and ratio (1: 3) i.e. 24.64%.

Keywords : *biofuel, kapuk (Ceiba pentandra) oil seed, catalytic hydrocracking, Zn-Mo/HZSM-5*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan YME karena atas rahmat dan karunia-Nya kami dapat melaksanakan Tugas Laporan Skripsi yang berjudul **Konversi Minyak Biji Kapuk (*Ceiba Pentandra*) menjadi Biofuel melalui Proses Hydrocracking menggunakan Katalis Logam Ganda Berbasis HZSM-5** dan menyelesaikan laporan ini tepat pada waktunya. Tugas Akhir ini merupakan syarat kelulusan bagi mahasiswa tahap sarjana di Departemen Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.

Selama penyusunan laporan ini, kami banyak sekali mendapat bimbingan, dorongan, serta bantuan dari banyak pihak. Untuk itu, kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua serta seluruh keluarga kami atas doa, dukungan, bimbingan, perhatian dan kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
2. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.
3. Bapak Ir. Ignatius Gunardi M.T dan Bapak Firman Kurniawansyah, ST, M.Eng, Sc, Ph.D selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan membantu kami
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA selaku Kepala Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan dosen penguji skripsi yang telah memberikan saran dan masukannya.
5. Ibu Dr. Eva Oktavia Ningrum, S.T., M.S selaku dosen penguji skripsi yang telah memberikan saran dan masukannya.
6. Bapak dan Ibu Dosen Pengajar serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS dan rekan-rekan dari Laboratorium Teknik Reaksi Kimia serta semua pihak yang telah membantu penyelesaian penelitian ini, yang tidak dapat kami sebutkan satu-persatu.

Kami menyadari bahwa penulisan laporan ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, oleh karena itu kami sangat mengharapkan saran dan masukan yang konstruktif demi kesempurnaan laporan ini.

Surabaya, Juli 2018

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	I-1
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Perumusan Masalah	I-3
I.3 Tujuan Penelitian	I-3
I.4 Manfaat Penelitian	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 Minyak Nabati	II-1
II.2 Minyak Biji Kapuk Randu.....	II-2
II.3 Biofuel	II-3
II.3.1 Kategori Biofuel	II-3
II.3.2 Teknologi Proses Biofuel	II-5
II.4 Standar Nasional Indonesia (SNI) Bahan Bakar Minyak	II-8
II.5 Metode Impregnasi	II-10
II.6 Katalis dan Material Pendukung.....	II-11
II.6.1 Karakteristik Katalis Zn-Mo/HZSM-5	II-13
II.6 Penelitian Terdahulu.....	II-14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	III-1
III.1 Bahan dan Alat	III-1
III.1.1 Bahan.....	III-1
III.1.2 Alat	III-1
III.2 Parameter yang Digunakan.....	III-2
III.2.1 Parameter Tetap.....	III-2
III.2.2 Parameter Berubah	III-3
III.3 Parameter yang Dianalisa.....	III-3

III.3.1 Bahan Baku Minyak Biji Kapuk Randu	III-3
III.3.2 Katalis Zn-Mo/HZSM-5	III-3
III.3.3 Produk <i>Biofuel</i>	III-3
III.4 Diagram Alir Penelitian	III-4
III.4.1 Pembuatan Katalis	III-6
III.4.2 <i>Catalytic Hydrocracking</i> Minyak Biji Kapuk Randu	III-8
III.5 Prosedur Penelitian.....	III-8
III.5.1 Pembuatan Katalis	III-8
III.5.2 Karakterisasi Katalis.....	III-9
III.5.3 Proses <i>Catalytic Hydrocracking</i>	III-9
III.6 Teknik Analisa Data dan Penyimpulan	III-10
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	IV-1
IV.1 Minyak Biji Kapuk Randu	IV-1
IV.2 Karakterisasi Katalis	IV-4
IV.3 Hasil <i>Catalytic Hydrocracking</i> Minyak Biji Kapuk Randu	IV-11
IV.3.1 Pengaruh Suhu Reaksi dan Katalis Terhadap Pembentukan Komposisi <i>Biofuel</i>	IV-11
IV.3.2 Pengaruh Suhu Reaksi dan Katalis Terhadap Pembentukan Komposisi <i>Biofuel</i>	IV-16
BAB V KESIMPULAN.....	V-1
V.1 Kesimpulan.....	V-1
V.2 Saran.....	V-1
DAFTAR PUSTAKA	xii
APPENDIKS A	A-1
APPENDIKS B	B-1
APPENDIKS C.....	C-1
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur <i>Triglycerides</i> (R1, R2, dan R3 representasi Rantai <i>Fatty Acid</i>)	II-1
Gambar 2.2	Metode Konversi Menjadi Biofuel	II-5
Gambar 2.3	Konversi Trigliserida Menjadi Hidrokarbon	II-7
Gambar 2.4	Reaksi Hydrocracking Minyak Biji Kayu Randu Komponen Asam <i>Palmitic</i>	II-7
Gambar 2.5	Representasi Kinerja Katalis	II-11
Gambar 3.1	Peralatan Kalsinasi	III-1
Gambar 3.2	Peralatan Proses <i>Hydrocracking</i>	III-2
Gambar 3.3	Diagram Alir Prosedur Penelitian	III-4
Gambar 3.4	Diagram Alir Pengubahan NH ₄ ZSM-5 menjadi HZSM-5	III-5
Gambar 3.5	Diagram Alir Prosedur Preparasi Katalis Zn-Mo/HZSM-5	III-6
Gambar 3.6	Diagram Alir <i>Catalytic Hydrocracking</i> Minyak Biji Kapuk Randu	III-8
Gambar 4.1	Minyak Biji Kapuk Randu (<i>Ceiba Pentandra</i>)..	IV-1
Gambar 4.2	Spektra GCMS Minyak Biji Kapuk Randu (<i>Ceiba pentandra</i>)	IV-2
Gambar 4.3	Pola XRD Katalis	IV-8
Gambar 4.4	Hasil <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM). (a) ZnMo/HZSM-5 5% (1:3), (b) ZnMo/HZSM-5 5% (1:4), (c) ZnMo/HZSM-5 10% (1:3), (d) ZnMo/HZSM-5 10% (1:4), (e) HZSM-5.....	IV-10
Gambar 4.5	Performa Katalis dalam pembentukan komposisi produk proses <i>Hydrocracking</i> minyak biji kapuk pada suhu 350 °C dan Tekanan 60 bar	IV-12
Gambar 4.6	Performa Katalis dalam pembentukan komposisi produk proses <i>Hydrocracking</i> minyak biji kapuk pada suhu 375 °C dan tekanan 60 bar	IV-14
Gambar 4.7	Performa Katalis dalam pembentukan komposisi produk proses <i>Hydrocracking</i> minyak biji kapuk pada suhu 400 °C dan tekanan 60 bar	IV-15

- Gambar 4.8** Pengaruh Suhu Reaksi terhadap *yield* pembentukan
(a) *Kerosene*, (b) *Gasoil* IV-18
- Gambar 4.9** Pengaruh Suhu Reaksi terhadap konversi minyak biji
kapuk randu pada tiap-tiap katalis IV-19

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komponen <i>Fatty Acid</i> dalam Minyak Nabati	II-2
Tabel 2.2 Komposisi Minyak Biji Kapuk	II-3
Tabel 2.3 Sifat Fisik dan Kimia Minyak Biji Kapuk Randu	II-3
Tabel 2.4 Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bensin	II-8
Tabel 2.5 Standar dan Mutu (Spesifikasi) Minyak Tanah I	II-9
Tabel 2.6 Karakteristik Solar Indonesia	II-9
Tabel 2.7 Klasifikasi Aktif Komponen	II-12
Tabel 2.8 Hasil Penelitian Terdahulu	II-17
Tabel 4.1 Hasil Analisa Komposisi Senyawa Dalam Minyak Biji Kapuk Randu (<i>Ceiba pentandra</i>) Menggunakan GCMS	IV-3
Tabel 4.2 Karakteristik Minyak Biji Kapuk Randu (<i>Ceiba pentandra</i>)	IV-4
Tabel 4.3 Data Analisa BET Katalis ZnMo/HZSM-5	IV-6

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Bahan bakar fosil merupakan sumber energi tradisional yang masih banyak digunakan diberbagai sektor. Sektor industri dan transportasi adalah sektor utama yang berperan penting dalam penggunaan sumber energi ini. Emisi hasil pembakaran sumber energi fosil adalah karbon dioksida, karbon monoksida, sulfur oksida, dan NO_x (Fan dkk, 2014). Hasil pembakaran tersebut dapat menyebabkan masalah lingkungan seperti *global warming* dan polusi udara. Sumber energi fosil yang semakin habis, juga menjadi alasan utama untuk mengembangkan potensi sumber daya alam yang bisa diperbarui. Sumber daya alam ini bisa berupa biomassa. Ketersediaan biomassa di dunia berkisar 220 miliar ton per tahun yang mampu dihasilkan (Tanneru & Steele, 2015). Diantara biomassa yang bisa dimanfaatkan adalah biji nyamplung, biji jarak, biji bunga matahari, buah kelapa sawit dan masih banyak lagi (Ishihara dkk, 2014). Sumber energi alternatif memiliki peran yang sangat penting untuk menurunkan emisi gas rumah kaca, menurunkan polusi udara, serta meningkatkan ketahanan energi nasional. Menurut Luque dkk 2016 biofuel yang dihasilkan empat kali lebih cepat terurai dari pada minyak fosil, sehingga lebih efektif untuk mengurangi polusi udara. Biomassa tersebut diambil minyak nabati untuk dikonversikan menjadi *biofuel*. Minyak nabati berupa *triglycerides* yang memiliki viskositas tinggi yang biasa dikonversikan menjadi biodiesel via transesterifikasi (Hanafi dkk, 2016). Konversi via transesterifikasi memiliki kelemahan diantaranya stabilitas penyimpanan yang buruk (mudah teroksidasi) karena adanya olefin rantai ganda dan merupakan pelarut organik (Hancsó k dkk, 2012). Untuk memperbaiki kelemahan tersebut, banyak metode-metode yang terus dikembangkan untuk membuat *biofuel*. Metode yang dikembangkan adalah konversi dari minyak nabati menjadi *hydrocarbon*. Metode yang secara luas dikembangkan adalah

pyrolysis/cracking (catalytic pyrolysis) dan *hydroprocessing (hydrocracking, decarboxilation)* (Aslam dkk, 2015). Walaupun metode-metode tersebut memiliki hasil yang sama yaitu *biofuel*, namun dari segi proses, peralatan, dan katalis metode tersebut berbeda.

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah dengan menggunakan metode *hydrocracking*. *Hydrocracking* merupakan alternatif teknologi untuk mengkonversikan minyak nabati menjadi *hydrocarbon* berupa alkana rantai lurus (umumnya C₁₅-C₁₈) yang dikenal sebagai *middle destilate* (Liu dkk, 2013). Kelebihan dari metode ini diantaranya adalah lebih tinggi densitas energi, lebih rendah emisi nitrogen oksida (NO_x) dan lebih tinggi stabilitas oksidasi bila dibandingkan dengan fatty acid methyl ester (Veriansyah dkk., 2012). Pada umumnya, metode *hydrocracking* menggunakan katalis zeolite dengan logam ganda. Teknologi ini memiliki potensial untuk menghasilkan *biofuel* yang lebih baik dari pada biodiesel via transesterifikasi (Bezergianni & Kalogianni, 2009).

Bahan baku yang digunakan adalah minyak biji kapuk randu (*Ceiba pentandra*). Alasan kita memilih bahan baku ini karena pemanfaatan yang kurang maksimal dari biji kapuk randu. Dimana saat ini biji kapuk randu hanya digunakan sebagai campuran dalam pakan ternak. Biji kapuk kayu randu memiliki kandungan minyak 25 – 28 %. *Triglycerides* merupakan konstituen besar yang biasa terkandung dalam minyak nabati (Kumar dkk, 2015).

Dalam metode Hydrocracking ini, katalis mempunyai fungsi yang signifikan. Katalis logam berbasis HZSM-5 adalah katalis yang banyak digunakan pada proses hydrocracking. Keuntungan HZSM-5 diantaranya memiliki porositas yang tinggi dan kandungan unsur Si pada katalis ZSM-5 (*Zeolite Second Mobile 5*) lebih tinggi dari pada unsur Al, selain itu katalis zeolite selektif terhadap pembentukan hidrokarbon dengan rantai C < 11 (Tambun dkk, 2016). Logam yang digunakan adalah logam Zn dan Mo yang memiliki karakteristik tersendiri terhadap proses

hydrocracking. Dalam proses *hydrocracking* Zinc memiliki aktifitas keasaman yang tinggi dan stabilitas yang kuat. Keasaam yang kuat merupakan keadaan yang penting untuk konversi minyak nabati menjadi hidrokarbon. Logam Molibdenum (Mo) ditambahkan sebagai promotor supaya menurunkan produksi poliaromatik yang bisa menyebabkan deaktivasi katalis (Zhao dkk, 2016). Serangkaian logam Zn dan Mo berbasis HZSM-5 dibuat dengan metode impregnasi. Penelitian proses hydrocracking minyak nabati biji kayu randu menjadi *hydrocarbon* ini, diharapkan mampu menjadi solusi dimasa yang akan datang untuk mengurangi pemakaian bahan bakar fosil dan pencemaran lingkungan.

I.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini, antara lain:

1. Bagaimana pengaruh rasio perbandingan impregnasi pada HZSM-5 terhadap karakteristik katalis yang dihasilkan.
2. Bagaimana pengaruh % *loading* Zn-Mo pada HZSM-5 terhadap karakteristik katalis yang dihasilkan.
3. Bagaimana pengaruh suhu terhadap *yield* yang dihasilkan melalui proses *hydrocracking* minyak biji kapuk randu.

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah, sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh rasio perbandingan impregnasi pada HZMS-5 terhadap karakteristik katalis yang dihasilkan.
2. Mengetahui pengaruh % *loading* Zn-Mo pada HZSM-5 terhadap karakteristik katalis yang dihasilkan.
3. Mengetahui pengaruh suhu terhadap *yield* yang dihasilkan melalui proses *hydrocracking* minyak biji kapuk randu.

I.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini, diantaranya adalah:

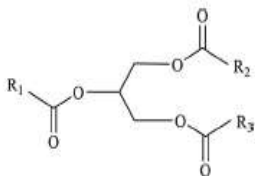
1. Memberi wawasan baru bagi penulis dan masyarakat mengenai pemanfaatan biji kapuk randu sebagai bahan bakar alternatif.
2. Mendukung program pemerintah yaitu mengenai pengembangan Bahan Bakar Nabati serta Konservasi dan Diversifikasi Energi.
3. Mengurai ketergantungan bahan bakar fosil dan menggantikan dengan energi baru terbarukan.
4. Mengurangi Efek Gas Rumah Kaca / *Green House Gas* (GHG).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Minyak Nabati










Minyak nabati merupakan minyak yang diambil dari biji tumbu-tumbuhan, seperti minyak biji jarak, biji bunga matahari, biji pohon bakau. Penelitian mengenai minyak nabati menjadi menarik karena sumber bahan baku yang bisa diperbarui yaitu berasal dari tumbu tumbuhan. Kandungan utama dari minyak nabati ini adalah *triglycerides* sekitar 90-98% (Kumar dkk, 2015). Minyak nabati ini dibentuk oleh glycerol yang mengikat 3 molekul *fatty acid*. *Fatty Acid* ini mengandung rantai carbon 8-24 dan antara 0-7 rantai karbon ikatan rangkap. Secara umum *Fatty acid* yang terdapat dalam minyak nabati adalah stearik, palmitic, oleic, linoleic, linolenic dll. **Gambar 2.1** (Zhang dkk, 2017) merupakan representasi *triglycerides* yang mengikat 3 molekul *fatty acid*.



Gambar 2.1 Struktur *Triglycerides* (R1, R2, dan R3 representasi Rantai *Fatty Acid*)

Menurut Balgacem dan Pfister dalam Zhang 2017, komponen *fatty acid* dalam minyak nabati dapat dilihat pada **Tabel 2.1**:

Tabel 2.1 Komponen *Fatty Acid* dalam Minyak Nabati

<i>Fatty Acids</i>	Formula	Struktur
Caprylic	$C_8H_{16}O_2$	
Palmitic	$C_{16}H_{32}O_2$	
Stearic	$C_{18}H_{36}O_2$	
Oleic	$C_{18}H_{34}O_2$	
Linoleic	$C_{18}H_{32}O_2$	
Linolenic	$C_{18}H_{30}O_2$	
Ricinoleic	$C_{18}H_{34}O_3$	
α -Eleostearic	$C_{18}H_{30}O_2$	
Vernolic	$C_{18}H_{30}O_2$	

II.2 Minyak Biji Kapuk Randu

Kapuk randu (*Ceiba pentandra*) merupakan pohon tropis yang berasal dari bagian utara Amerika Selatan, Amerika Tengah, Karibia, dan Afrika. Kapuk randu mampu tumbuh mencapai 8 – 30 meter dengan diameter 3 meter. Tanaman ini memiliki klasifikasi adalah Kingdom: Plantea, Divisio: Magnoliophyta, Kelas: Magnoliopsida, Ordo: Malvales, Famili: Malvaceae, Genus: *Ceiba*, Spesies: *Ceiba pentandra* (Pratiwi, 2012). Adapun hasil yang diambil dari tanaman ini adalah serat kapuknya, sedangkan biji kapuk belum banyak dimanfaatkan. Biji kapuk mengandung minyak yang dapat diambil dan dimanfaatkan sebagai produk yang bernilai tinggi. Penyusun utama minyak biji kapuk adalah trigliserida. Melalui proses transesterifikasi minyak biji kapuk diharapkan dapat diperoleh hasil berupa alkyl ester atau biodiesel dengan hasil samping gliserol (Andaka, 2008). Biji kapuk kayu randu memiliki kandungan minyak 25 – 28 %. *Triglycerides* merupakan konstituen besar yang biasa terkandung dalam minyak nabati. Berikut **Tabel 2.2** (Kumar dkk, 2015) komposisi minyak yang terdapat dalam minyak biji kapuk :

Tabel 2.2 Komposisi Minyak Biji Kapuk

<i>Fatty Acid</i>	Nama Sistematis	Stuktur	Formula	% berat
Myristic	Tetradekanoik	14:0	$C_{14}H_{28}O_2$	0,25
Palmitic	Heksadekanoik	16:0	$C_{16}H_{32}O_2$	24,0
Stearic	Oktadekanoik	18:0	$C_{18}H_{36}O_2$	5,0
Arachidic	Eikosanoik	20:0	$C_{20}H_{40}O_2$	1,0
Behenic	Dokosanoik	22:0	$C_{22}H_{44}O_2$	0,5
Oleic	<i>Cis</i> -9-Oktadekanoik	18:1	$C_{18}H_{34}O_2$	22,0
Linoneic	<i>Cis</i> -9, <i>cis</i> -12-Oktadekanoik	18:2	$C_{18}H_{32}O_2$	32,5
Linoneic	<i>Cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>Cis</i> 15-Oktadekanoik	18:3	$C_{18}H_{30}O_2$	6,3
Sterculic	n-Oktilsikloprop-1-enyl-Oktanoik	19:2	$C_{19}H_{34}O_2$	8,6

Berikut merupakan sifat fisik dan kimia minyak biji kapuk pada **Tabel 2.3** (Handoyo, 2007):

Tabel 2.3 Sifat Fisik dan Kimia Minyak Biji Kapuk Randu

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil
1	<i>Boilling point</i> , °C	160
2	<i>Flash point</i> , °C	308
3	<i>Specific gravity</i>	0,9215
4	Bilangan peroksida, mgeq /kg	93,287
5	Bilangan penyabunan	134,907
6	Asam lemak bebas, %	7,55
7	Kandungan abu, % berat	0,057

II.3 Biofuel

II.3.1 Kategori Biofuel

Biofuel merupakan bahan bakar baik cair maupun gas yang berasal dari bahan-bahan hayati (Suarna, 2015). Biofuel ini dapat di kategorikan menjadi 4 generasi, yaitu:

a. Biofuel Generasi Pertama

Biofuel generasi pertama atau biofuel konvensional adalah bahan bakar yang dihasilkan dari turunan hasil pertanian seperti tebu, jagung, kelapa sawit, kedelai, gandum. Produk yang dihasilkan dari generasi pertama ini adalah biodiesel yang diperoleh dari proses transesterifikasi sebagai pengganti gasoil. Bioethanol hasil fermentasi sebagai pengganti gasoline atau sebagai bahan baku pembuatan *tert-butyl Ether* (Luque et al., 2016).

b. Biofuel Generasi Kedua (*Advance Biofuel*)

Advance Biofuel ini memanfaatkan lignoselulosa dari biomas untuk dikonversikan menjadi bahan bakar. Teknologi untuk mengaplikasikan biofuel pada generasi ini diantaranya adalah pyrolysis, gasification, likuifikasi, dan pemanfaatan secara langsung biomass (Luque dkk., 2016). *Pyrolysis* dapat dibedakan menjadi 2, yaitu pirolisis lambat dan pirolisis cepat. Pirolisis cepat akan menghasilkan fuel berupa padatan, sedangkan pirolisis lambat akan menghasilkan fuel berupa cairan (Fokaides and Polycarpou, 2013). Gasifikasi merupakan teknologi mengubah biomass menjadi *syngas* pada suhu operasi 800-900 °C yang kemudian di konversikan menjadi fuel (*Gas to liquid fuel*) atau produk kimia intermediat (Liew dkk., 2014). Sedangkan untuk proses likuifikasi merupakan proses untuk mengubah komponen lignoselulosa menjadi bagian-bagian kecil dan tidak stabil dan kemudian dikonversikan menjadi bahan bakar, pada proses ini dibutuhkan katalis untuk mendapatkan produk (Rowlands dkk., 2008)

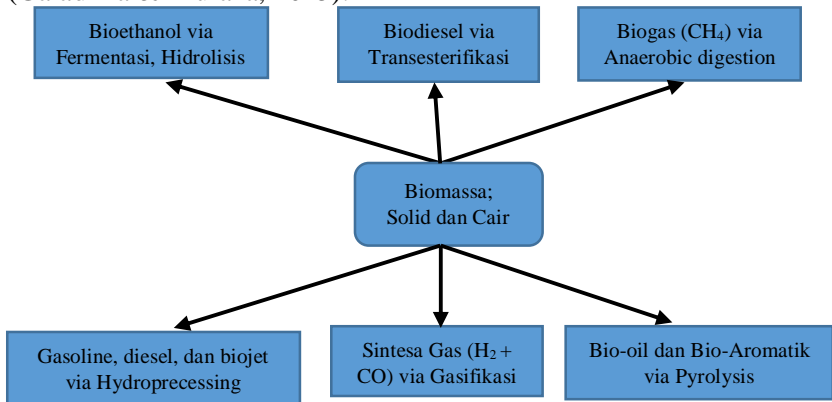
c. Biofuel Generasi ketiga dan empat

Pada generasi ketiga ini, bahan dasar yang digunakan ditujukan pada alga. Diketahui bahwa alga merupakan sumber energi baru terbarukan dan memiliki efektivitas yang lebih tinggi dari pada bahan baku yang digunakan pada generasi satu dan dua (Liew dkk., 2014). Keuntungan

yang didapatkan dari alga diantaranya adalah pertumbuhan yang cepat, memiliki kandungan minyak yang banyak dalam setiap selnya, mengurangi emisi gas rumah kaca karena CO₂ sebagai bahan untuk fotosintesis dengan bantuan sinar matahari, dan memiliki kompetisi yang rendah terhadap makanan (Collet dkk, 2013).

II.3.2 Teknologi Proses Biofuel

Proses konversi biomass/minyak nabati menjadi biofuel sudah banyak dikembangkan oleh peneliti-peneliti terdahulu. Ada teknologi yang sudah diaplikasikan dalam skala besar seperti biodiesel via transesterifikasi, bioalkohol via fermentasi dan ada juga teknologi yang masih dalam pengembangan. **Gambar 2.2** merupakan bagan untuk mendapatkan biofuel dari minyak nabati (Galadima & Muraza, 2015):



Gambar 2.2 Metode Konversi Menjadi Biofuel

Biomass/Minyak nabati yang ditransformasikan menjadi *hydrocarbon* merupakan trend masa depan yang akan terus dikembangkan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Teknologi tersebut diantaranya adalah:

a. Pirolisis

Proses konversi biomass pada suhu tinggi (350-700 °C) tanpa atau dengan sedikit oksigen. Produk yang dihasilkan pada

proses konversi biomas ini diantaranya adalah bio-oil, gas, *char* (Galadima & Muraza, 2015). *Pyrolysis* dapat di bedakan menjadi 2, yaitu pirolisis lambat dan pirolisis cepat. Pirolisis cepat akan menghasilkan fuel berupa padatan, sedangkan pirolisis lambat akan menghasilkan fuel berupa cairan (Fokaides and Polycarpou, 2013)

b. Gasifikasi

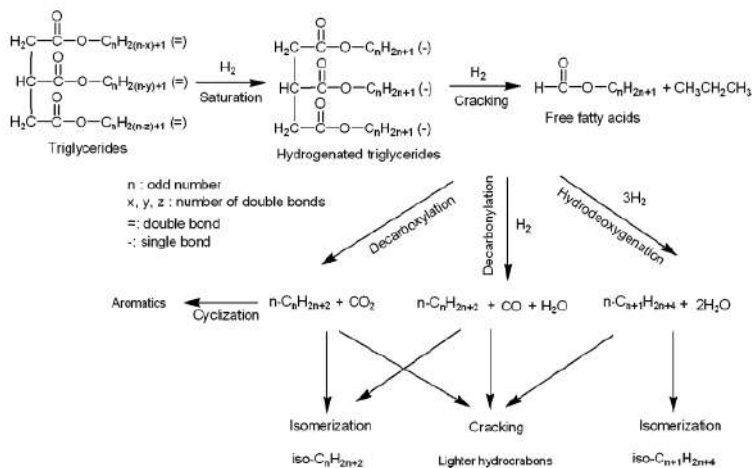
Gasifikasi merupakan langkah untuk merubah gas menjadi liquid *hydrocarbon* dari biomas yang tergasifikasi atau sering disebut dengan *syngas*. Teknologi yang masi dikembangkan saat ini diantaranya adalah *Fisher Tropsch* (F-T) proses dan proses fermentasi gas. Proses F-T mengubah biomass tergasifikasi menjadi beberapa fraksi *hydrocarbon*, seperti diesel, kerosene, dan gasoline. Proses fermentasi gas dibantu oleh bakteri *acetogenic bacteria*. *Syngas* yang sudah dicairkan akan difermentasikan menjadi acetate, acetone, isopropanol, dan butanol. Dengan teknologi Alkohol to fuel hasil dari fermentasi gas akan di jadikan fuel dengan rangkaian proses dehidrasi, oligomerasi, distilasi, dan proses hydrogenasi (Wang & Tao, 2016)

c. Hydrocracking

Hydrocracking merupakan proses perengkahan rantai karbon berantai panjang menjadi fraksi karbon dengan panjang rantai yang lebih pendek. Merupakan kombinasi dari perengkahan katalitik dan hydrogenasi. H_2 akan meminimalkan terbentuknya kokas (coke), selain itu H_2 berlebih digunakan dalam proses hydrogenasi. Reaksi hydrogenasi merupakan reaksi adisi hidrogen (H_2) pada gugus etilenik atau ikatan rangkap. Dalam proses *hydrocracking* ini terjadi beberapa reaksi yang berlangsung, diantaranya adalah reaksi hydrogenasi, propane split, hidroleoksisenasi, dekarbonilasi, dan dekarboksilasi (Eller dkk, 2016).

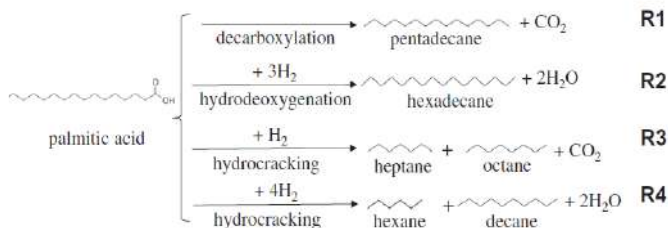
Mayoritas reaksi yang terjadi dalam konversi bio-oil menggunakan proses *hydrocracking* dengan bantuan hydrogen adalah hidroleoksisenasi (HDO), hidrolekarbonilasi (HDC), dan isomerasi. Selama proses hidroleoksisenasi (HDO) adalah untuk menghilangkan oksigen dalam bentuk H_2O dan hidrolekarbonilasi

dan hidrodekarboksilasi berupa CO, dan CO₂. Proses hidrodeoksigenasi merupakan reaksi yang sangat penting dalam proses *hydrocracking*, suhu yang optimal untuk reaksi HDO tersebut adalah dalam range suhu 300-400 ° C (Atsonios dkk, 2018). Reaksi *hydrocracking* minyak nabati dapat dilihat pada **Gambar 2.3** dibawah ini:



Gambar 2.3 Konversi Trigliserida Menjadi Hidrokarbon (Veriansyah dkk., 2012)

Dalam Atsonios reaksi yang *Hydrocracking* yang terjadi dalam minyak biji kapuk randuk pada komponen asam *palmitic* dapat dilihat pada **Gambar 2.4** dibawah ini:



Gambar 2.4 Reaksi Hydrocracking Minyak Biji Kayu Randu Komponen Asam *Palmitic*

II.4 Standar Nasional Indonesia (SNI) Bahan Bakar Minyak

Setiap negara memiliki standar tersendiri terhadap produk-produk yang akan dipasarkan kepada masyarakat. Begitu juga dengan Indonesia, salah satunya adalah standar bahan bakar minyak. Bahan bakar minyak menurut SK Dirjen Migas No.3674K/24/DJM/2006 diantaranya adalah bensin, minyak tanah 1, dan solar Indonesia. **Tabel 2.4** merupakan Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bensin :

Tabel 2.4 Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bensin

No	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min.	Maks.
1	Bilangan oktana angka oktana riset	RON	88	-
2	Stabilitas oksidasi	Menit	360	-
3	Kandungan sulfur	% m/m	-	0,015
4	Kandungan timbal (Pb)	g/l		0,013
5	Kandungan logam (mangan, besi)	mg/l	Tidak terlacak	
6	Kandungan oksigen	% m/m	-	2,7
7	Kandungan olefin	% v/v	Dilaporkan	
8	Kandungan aromatik	% v/v		
9	Kandungan benzena	% v/v	Dilaporkan	
10	Distilasi:			
	10% vol.penguapan	°C	-	74
	50% vol.penguapan	°C	75	125
	90% vol.penguapan	°C	-	180
	Titik didih akhir residu	°C	-	215
11	sedimen	% vol	-	2
		mg/l	-	1
12	Unwashed gum	mg/100 ml	-	70
13	Washed gum	mg/100 ml	-	5
14	Tekanan uap	kPa	45	69
15	Berat jenis (suhu 15 °C)	kg/m ³	715	770
16	Korosi bilah tembaga	Menit	Kelas 1	
17	Sulfur mercaptan	% massa	-	0,002
18	Penampilan visual	Jernih, terang		
19	Bau	Dapat dipasarkan		
20	Warna	Kuning		
21	Kandungan pewarna	g/100 l	-	0,13

Minyak tanah atau kerosene berdasarkan SK Dirjen Migas No. 21 K/72/DDJm/1990, memiliki spesifikasi berdasarkan **Tabel 2.5** berikut :

Tabel 2.5 Standar dan Mutu (Spesifikasi) Minyak Tanah I

No	Karakteristik	Satuan	Batasan MFO-1		Batasan MFO-2	
			Min.	Maks.	Min	Maks.
1	Densitas (suhu 15°C)	kg/m ³	-	991	-	1
2	Viskositas kinematik (suhu 50°C)	mm ² /s	-	180	-	2
3	Kandungan sulfur	% m/m	-	4,5	-	3
4	Titik tuang	°C	-	30	-	4
5	Titik nyala	°C	-	-	-	5
6	Residu karbon	% m/m	60	16	60	6
7	Kandungan abu	% m/m	-	0.1	-	7
8	Sedimen total	% m/m	-	0.1	-	8
9	Kandungan air	% v/v	-	1	-	9
10	vanadium	mg/kg	-	200	-	10
11	Aluminium + silikon	mg/m ³	-	80	-	11

Solar Indonesia atau gasoil berdasarkan SK Dirjen Migas No.2674 K/24/DJm/2006, memiliki spesifikasi berdasarkan **Tabel 2.6** berikut :

Tabel 2.6 Karakteristik Solar Indonesia

No	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min.	Maks.
1	Bilangan cetana		48	-
2	Berat jenis (suhu 15°C)	kg/m ³	815	860
3	Viskositas (suhu 40°C)	mm ² /s	2	4,5 0,35 0,3
4	Kandungan sulfur (Pb)	% m/m		0,25 0,05 0,005
5	Distilasi: 90% vol.penguapan	°C	-	370
6	Titik nyala	°C	52	-
7	Titik tuang	°C	-	18
8	Residu karbon	% m/m	-	0,1
9	Kandungan air	mm/kg	-	50
10	<i>Biological growth</i>	kg/m ³	Nihil	

Tabel 2.6 Karakteristik Solar Indonesia

No	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min.	Maks.
11	Kandungan FAME	% v/v	-	-
12	Kandungan metanol	% v/v	Tak terdeteksi	D 4815
13	Korosi bilah tembaga	menit	-	Kelas 1
14	Kandungan abu	% m/m	-	0,01
15	Kandungan sedimen	% m/m	-	0,01
16	Bilangan asam kuat	mg KOH/g	-	0
17	Bilangan asam total	mg KOH/g	-	0,6
18	Penampilan visual	Jernih, terang		
19	Warna	No. ASTM		3
20	Lubricity	micron	-	460

II.5 Metode Impregnasi

Terdapat berbagai macam cara untuk mensintesis katalis heterogen, contohnya Metode Impregnasi. Pengertian dari impregnasi adalah proses penjenjutan total suatu zat menggunakan zat tertentu. Banyak katalis yang disintesis dengan metode ini. Metode ini merupakan teknik preparasi katalis yang paling sering digunakan daripada metode lainnya. Alasan utamanya adalah karena kemudahan dalam pengerjaannya. Tujuannya adalah untuk mengisi pori-pori menggunakan larutan garam logam dengan konsentrasi tertentu. Setelah diimpregnasi, langkah selanjutnya adalah pengeringan dan pemanasan pada suhu tinggi (kalsinasi), sehingga terjadi dekomposisi precursor menjadi spesi aktif.

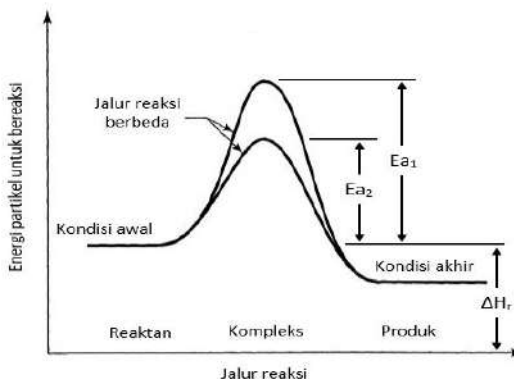
Ada dua metode impregnasi, yaitu:

1. Impregnasi basah (*wet impregnation*), pada impregnasi basah, jumlah larutan precursor fasa aktif ditambahkan ke penyangga melebihi volume pori penyangga. walaupun metode ini adalah yang termudah, tetapi dapat menghasilkan deposisi precursor fasa aktif yang sangat banyak pada bagian luar penyangga setelah dikeringkan dan menghasilkan distribusi fasa aktif mirip kulit telur pada bagian luar penyangga.

2. Impregnasi Kering (*incipient wetness impregnation*). Pada metode ini, jumlah larutan precursor aktif (impregnan) yang ditambahkan sama dengan jumlah volume penyangga. Keuntungan dari metode ini adalah akurat dalam mengontrol komponen aktif yang akan digabungkan dalam katalis, kelemahannya sulit melakukan pembuatan dengan % berat komponen aktif yang besar.

II.6 Katalis dan Material Pendukung

Katalis merupakan zat kimia yang berfungsi meningkatkan kecepatan reaksi dengan menurunkan energi aktivasi hingga mencapai kesetimbangan, dimana zat tersebut tidak ikut bereaksi. Katalis memiliki fungsi diantaranya meningkatkan aktivitas, selektivitas, dan *deactivation*. Berdasarkan fungsi yang pertama, katalis meningkatkan aktivitas memiliki beberapa keuntungan, yaitu kecepatan reaksi yang lebih cepat dalam kondisi yang sama, meningkatkan *yield*, operasi dapat dilakukan pada suhu atau operasi rendah, dan meningkatkan selektivitas. Deaktivasi katalis berhubungan dengan design proses dan waktu aktif katalis. Perubahan sedikit dengan design katalis untuk meningkatkan waktu aktif dapat berpengaruh besar terhadap ekonomi (Richardson, 2015).



Gambar 2.5 Representasi Kinerja Katalis

Sumber: Levenspiel, 1999

Kalatis memiliki beberapa komponen, diantaranya adalah aktif komponen, *support*, dan promotor.

a. Aktif Komponen

Aktif kompone ini bertanggung jawab pada reaksi kimia yang terjadi. Pemilihan aktif komponen merupakan langkah pertama dalam mendesign katalis. **Tabel 2.4** (Richardson, 2015) merupakan klasifikasi aktif komponen dalam mendesign/membuat katalis.

Tabel 2.7 Klasifikasi Aktif Komponen

Kelas	Tipe Reaksi/ Konduktivitas	Reaksi	Contoh
Metals	Konduktor Redok	Hydrogenation Hydrogenolysis Oxidation	Fe, Ni, Pt Pd, Cu, Ag
Oksida dan Sulfida	Semikonduktor Redok	Selektif hydrogenasi Hydrogenolysis Oxidation	NiO, ZnO, CuO Cr ₂ O ₃ , MoS ₂
Oksida	Insulator Ion Karbonium	Polimerisasi Isomerisasi Cracking Dehydration	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , MgO ₂ Si-O ₂ -Al ₂ O ₃ Zeolit

b. Support

Support memiliki banyak fungsi, fungsi yang paling penting adalah memelihara dan menstabilkan *surface* area pada aktif komponen. Support berupa metal digunakan pada loading yang rendah dan loading yang tinggi, tergantung pada proses (Richardson, 2015).

c. Promotor

Promotor merupakan agent ke tiga yang ditambahkan, biasanya dalam jumlah yang sedikit. Promotor ini berfungsi untuk mengontrol stabilitas, meningkatkan aktifitas katalis, dan meningkatkan selektivitas. Disamping promotor ditambahkan

untuk menghambat reaksi yang tidak diinginkan seperti pembentukan *coke* (Richardson, 2015).

II.6.1 Karakteristik Katalis Zn-Mo/HZSM-5

Pada penelitian ini digunakan katalis Zn-Mo/HZSM-5 berikut senyawa yang digunakan:

a. Seng (Zn) Sebagai Senyawa Aktif

Seng merupakan salah satu unsur dengan simbol Zn, memiliki nomor atom 30, massa atom 65,37 gr/mol, konfigurasi elektron $[Ar]3d^{10}4s^2$ dan terdapat pada golongan IIB unsur transisi disalam tabel periodik. Seng adalah logam yang berwarna putih kebiruan yang sangat mudah ditempa. Seng liat pada suhu 110-150 °C, melebur pada suhu 410 °C, dan mendidih pada suhu 906 °C. Dalam proses *hydrocracking Zinc* memiliki aktifitas keasaman yang tinggi dan stabilitas yang kuat. Keasaam yang kuat merupakan keadaan yang penting untuk konversi minyak nabati menjadi hidrokarbon (Zhao dkk, 2016).

b. Molibdenum (Mo) sebagai Promotor

Molibdenum didapat sebagai hasil samping operasi penambangan tembaga dan wolfram. Untuk memperoleh logam yang lebih murni, molibden oksida dilarutkan dalam larutan amonia untuk dikristalkan sebagai amonium molibdat, kadang-kadang sebagai dimolibdat, $[NH_4]_2[Mo_2O_7]$, atau sebagai paramolibdat, $[NH_4]_6[Mo_7O_{24}].4H_2O$ bergantung pada kondisinya. Molibdat ini kemudian dapat direduksi dengan gas H_2 menjadi serbuk logam molibdenum yang berwarna abu-abu. Berikut ini adalah karakteristik logam Mo. Dalam proses *Hydrocracking* logam Molibdenum berfungsi untuk menurunkan terbentuknya poliaromatik serta meninggikan produk naptha dan aromatic. Poliaromatik ini sebagai hasil dari sisi aktif HZSM-5. HZSM-5 dalam proses ini akan menghasilkan aromatic dan poliaromatik. Poliaromatik ini akan menyebabkan deaktivasi katalis sehingga produksinya harus diatur. Oleh sebab itu, ditambahkan logam Molibdenum (Mo) supaya meningkatkan produksi fraksi naptha dan menurunkan poliaromatik (Zhao dkk, 2016)

c. Zeolit Sebagai Penyangga/Support

Zeolit digunakan sebagai penyangga karena memiliki beberapa keuntungan diantaranya adalah (a) menurut J.A. Rabo zeolit

memiliki struktur kristal yang bagus, dan memiliki pori-pori 0,3 – 1,0 nm yang bisa menampung ion dan molekul air dalam jumlah yang besar. Zeolit juga disebut sebagai *molecular sieve*, karena zeolite memiliki kemampuan untuk mempengaruhi bentuk dan ukuran dalam reaksi katalitik, menurut E. M. Flanigen dalam Ricahrson. (b) mudah dalam pertukaran ion dengan, memiliki distribusi electron 10^4 kali lebih besar dari pada $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$. Menurut Buzetzkki dalam Tambun 2016 menyebutkan zeolite memiliki porositas yang tinggi dan kandungan unsur Si pada katalis ZSM-5 (*Zeolite Second Mobile 5*) lebih tinggi dari pada unsur Al, selain itu katalis zeolite selektif terhadap pembentukan hidrokarbon dengan rantai $\text{C} < 11$ (Tambun dkk, 2016).

II.7 Penelitian Terdahulu

Di antara sumber energi lainnya seperti gas, solar dan listrik, bahan bakar minyak adalah sumber energi yang paling umum digunakan untuk sektor transportasi. Pada tahun 2004, permintaan minyak naik menjadi 82 juta barel per hari; dan diperkirakan akan meningkat hingga 111 juta barel per hari pada tahun 2025. Kenaikan signifikan ini permintaan akan mempengaruhi jumlah persediaan minyak bumi yang akibatnya mempengaruhi permintaan minyak yang mungkin akan meningkat. Namun, masalah ini dapat diatasi dengan mencari pasokan alternatif, seperti minyak nabati. Perlu untuk mempertimbangkan jenis minyak karena proses produksi terbaru, dan hasil saat yang sama emisi polutan lebih rendah dari bahan bakar fosil. Pada saat ini, proses untuk mengubah minyak kernel *Calophyllum inophyllum* menjadi bahan bakar melibatkan reaksi esterifikasi dan transesterifikasi dan diikuti dengan proses pemurnian.

Dalam proses *hydrocracking*, katalis logam transisi, kobalt (Co) dan molibdenum (Mo), memiliki selektivitas yang tinggi.

Katalis juga dapat digunakan dalam proses hidrodesulfurisasi (HDS) dan hidrogenitrogenisasi (HDN). HDS dan HDN proses metode yang digunakan untuk mengurangi nitrogen dan sulfur ditemukan di bahan bakar minyak umum. Proses lain adalah proses *hydrotreating* menggunakan katalis CoMo dengan suhu hingga 380 °C dan tekanan hingga 40-60 bar, yang mungkin berhasil mencapai konversi 100% dengan minyak bunga matahari. Dari penelitian didapatkan konversi *biofuel* untuk katalis CoMo/ γ -Al₂O₃, CoMo/SiO₂ dan CoMo/ γ -Al₂O₃-SiO₂ berturut-turut sebesar 99,9%, 42,3%, dan 17,47% dengan proses *hydrocracking* (Rismawati dkk, 2015).

Peneliti lain menggunakan HZSM-5 sebagai basis katalis dengan logam Zn untuk menghasilkan *biofuel* dari minyak kemiri dan minyak kelapa sawit melalui proses *catalytic cracking* dengan menggunakan reaktor *fixed bed*. Hasil yang didapat minyak kemiri memiliki komposisi yang berbeda dengan kelapa sawit. Komposisi minyak kemiri adalah asam oleic, 2-butyl- 5- hexyloctahydro, asam palmitat dan asam karbonat dengan persentase masing-masing 69,708%, 18,251, 8,357 % dan 3,685%. Produksi *biofuel* dari minyak kemiri menggunakan proses *catalytic cracking* dengan Zn / HZSM-5 katalis dapat digunakan sebagai pengganti sumber energi bahan bakar fosil. *Biofuel* dari minyak kemiri memiliki selektivitas *biofuel* lebih tinggi dibandingkan dari kelapa sawit. *Biofuel* selektivitas tertinggi adalah 80,75% pada suhu 325 ° C dengan laju aliran nitrogen dari 60 ml / menit. Jumlah *cetane number biofuel* adalah 74,8. Oleh karena itu, Zn / HZSM-5 sangat direkomendasikan untuk produksi *biofuel* dari minyak kemiri (Budianto dkk, 2014).

Penelitian dari Rogelio Sotelo-Boyas, produksi *green diesel* dari minyak kanola dengan katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ dan Pt-Zeolit sebagai basis katalis melalui proses *hydrocracking*. Proses *hydrotreating* minyak nabati pada katalis *bifunctional* memungkinkan produksi hidrokarbon cair yang dikenal sebagai "green" diesel mengandung sebagian besar *n-heptadecane* dan *n-octadecane*, yang terutama dibentuk oleh reaksi dekarbonilasi dan

hydrodeoxygenation. *Green diesel* dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar transportasi. Karena sisi asam katalis kuat, Pt / zeolit memiliki aktivitas perengkahan tinggi. Proses hidrogenasi juga sangat tinggi dan karena itu hidrogen sangat cepat dikonsumsi dengan katalis ini. Karena itu, hasil dari diesel lebih rendah dari yang diperoleh saat menggunakan NiMo / Al₂O₃ sebagai katalis.

Peneliti yang lain mencoba melakukan impregnasi logam transisi (Ni,Cu,Zn) ke dalam HZSM-5 untuk meningkatkan *site active* dari katalis tersebut, dari penelitian ini diketahui pada temperatur 450oC dan laju gas N₂ 130 ml/min untuk katalis HZSM-5 yield gasoline 17,11% kerosene 14,89% dan diesel 10,86%. Untuk katalis Ni/HZSM-5 yield gasoline 17,55% kerosene 13,48% dan diesel 5,84%. Untuk katalis Cu/HZSM-5 yield gasoline 18,05% kerosene 13,30% dan diesel 5,72%. Untuk katalis Zn/HZSM-5 yield gasoline 29,38% kerosene 12,86% dan diesel 4,78% (Nurjannah, 2012).

Tabel 2.8 merupakan rangkuman hasil penelitian sebelumnya dengan metode hydrocracking untuk menghasilkan hidrokarbon :

Tabel 2.8 Hasil Penelitian Terdahulu

Peneliti	Bahan Baku	Tipe Reaktor	Reaksi Kondisi	Katalis	Produk Utama	Konversi/ yield
Liu dkk (2015)	Minyak Biji Jarak	Fixed Bed	T = 350 °C P = 4 Mpa	NiMo/Al ₂ O ₃ -SiO ₃ NiMo/SiO ₂ NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ NiMo/H-Y NiMo/HZSM-5	LPG C ₁₅ – C ₁₈ n-parafin C ₁₁ – C ₂₀ C ₁₁ – C ₂₀ C ₁₁ – C ₂₀ C ₁₀ – C ₂₀ n-parafin	100/83,5
Murata dkk (2010)	Minyak biji Jarak	Batch	T = 270 °C P = 6,5 MPa t = 12 jam	Pt/HZSM-5 Pt/USY	C ₁₀ -C ₂₀ n-parafin C ₁₀ -C ₂₀ n-parafin	83,5/67,7 100/90
Veriansyah dkk (2011)	Minyak Kedelai	Batch	T = 400 °C P = 9,2 MPa t = 1 jam	NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ Pd/ γ -Al ₂ O ₃ CoMo/ γ -Al ₂ O ₃ Ni/ Al ₂ O ₃ -SiO ₃ Pt/ γ -Al ₂ O ₃ Ru/ γ -Al ₂ O ₃	C ₁₅ – C ₁₈ n-parafin C ₁₅ – C ₁₇ n-parafin C ₁₅ – C ₁₇ n-parafin C ₁₅ – C ₁₇ n-parafin C ₁₅ – C ₁₇ n-parafin C ₁₅ – C ₁₇ n-parafin	92,9/64,5 91,9/79,2 78,9/33,7 60,8/39,2 50,8/37,7 39,7/32,0

Peneliti	Bahan Baku	Tipe Reaktor	Reaksi Kondisi	Katalis	Produk Utama	Konversi/ yield
Morgan dkk (2012)	Minyak kedelai	Batch	T = 350 °C P = 0,7 MPa N ₂ t = 4 jam	Ni/ Al ₂ O ₃ NiAl/LDH MgAl/LDH	≥C ₁₈ C ₈ -C ₁₇ C ₈ – C ₁₇	68/51,2 74/52,9 72/47,8
Simacel dkk (2011)	Minyak Biji Bunga Matahari	Fix Bed	T = 360-420 °C P = 18 MPa Oil Flow = 49 g/h H ₂ Flow = 0,049 Nm ³ /h	Sulfided Katalis (tidak spesifik)	C ₁₅ – C ₂₀ Iso-Parafin	64,7 (360 °C)
Hanscok dkk (2012)	Minyak Biji Bunga Matahari	Fixed Bed	T = 360 – 380 °C P = 6 -8 MPa LHSV = 1 – 1,2 h ⁻¹ H ₂ /rasio minyak = 450 Nm ³ /m ³	CoMo/Al ₂ O ₃	Gas C ₅ – C ₁₀ n paraffin C ₁₁ – C ₂₀ n dan iso-Parafin	94- 99,8/63,1- 71,5
				NiMo/Al ₂ O ₃ -F	C ₁₅ – C ₁₈ n-paraffin	73,2 – 75,6

Peneliti	Bahan Baku	Tipe Reaktor	Reaksi Kondisi	Katalis	Produk Utama	Konversi/ yield
Krar dkk (2010)	Minyak Biji Bunga Matahari	Fixed Bed	T = 380 °C P = 4-6 MPa LHSV = 1 h ⁻¹ H ₂ /minyak = 500-600 Nm ³ /m ³	CoMo/Al ₂ O ₃	C ₁₄ – C ₁₈ n- Paraffin	100/73,7 – 73,9
Guzman dkk (2010)	Minyak Kelapa Sawit	Fixed Bed (Pilot Plan)	T = 350 °C P = 4-9 MPa LHSV = 2 h ⁻¹	NiMo/Al ₂ O ₃	C ₁₆ – C ₁₈ n- paraffin	100, molar
Charusiri dkk (2012)	WCO	Batch	T = 380 °C P = 4-6 MPa Katalis/minyak =0,0028 t = 0,75 – 1,5 jam	HZSM-5 <i>sulfated zirconia</i>	Naphtha, kerosene, dan diesel (paraffin)	79,2
Achmad Roesyadi dkk (2015)	Minyak nyamplung	<i>Batch</i>	T = 350 °C P = 30 bar	CoMo/ γ -Al ₂ O ₃ CoMo/SiO ₂ CoMo/ γ - Al ₂ O ₃ ,SiO ₂	<i>Gosoline</i> <i>Kerosene</i> <i>Gasoil</i>	/25,63 /17,31 /38,59

Peneliti	Bahan Baku	Tipe Reaktor	Reaksi Kondisi	Katalis	Produk Utama	Konversi/ yield
Danawati H.P dkk (2014)	Minyak Kemiri	<i>Fixed Bed</i>	T = 300 – 375 °C N ₂ flow = 60 ml/menit	Zn/HZSM-5	<i>Biocrude</i>	/80,75 (325 °C)
Achmad Reosyadi dkk (2012)	Minyak Kelapa Sawit	Fixed Bed	T = 350 – 500 °C	HZSM-5 Ni/HZSM-5 Cu/HZSM-5 Zn/HZSM-5	<i>Gosoline</i> <i>Kerosene</i> <i>Gasoil</i> <i>Gosoline</i> <i>Kerosene</i> <i>Gasoil</i> <i>Gosoline</i> <i>Kerosene</i> <i>Gasoil</i> <i>Gosoline</i> <i>Kerosene</i> <i>Gasoil</i>	/17,11 /14,89 /10,86 /17,55 /13,48 /5,84 /18,05 /13,30 /5,72 /29,38 /12,86 /4,78
Nunki Fathurrozi dkk (2015)	Minyak Bintaro	<i>Batch</i>	T = 375 °C	CoNi/HZSM-5	<i>Gosoline</i> <i>Kerosene</i> <i>Gasoil</i>	/13,66 /12,76 /63,58

BAB III

METODOLOGI PERCOBAAN

Dalam pembuatan *biofuel* dari minyak biji kapuk randu melalui proses *hydrocracking* dengan menggunakan katalis Zn-Mo/HZSM-5 dilakukan persiapan sebagai berikut:

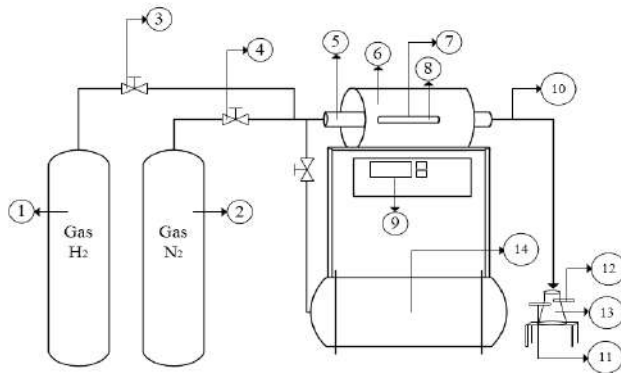
III.1 Bahan dan Alat

III.1.1 Bahan

1. Minyak Biji Kapuk Randu
2. Gas H_2
3. Gas N_2
4. NH_4ZSM-5
5. $N_2O_6Zn.6H_2O$
6. $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$

III.1.2 Alat

1. Peralatan Kalsinasi



Gambar 3.1 Peralatan Kalsinasi

Keterangan gambar:

- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| 1. Tabung Gas H_2 | 6. Furnace |
| 2. Tabung Gas N_2 | 7. Nacelle |
| 3. Valve tube gas H_2 | 8. Katalis |
| 4. Valve tube gas N_2 | 9. Panel control furnace |
| 5. Reaktor kalsinasi | 10. Tube gas outlet |

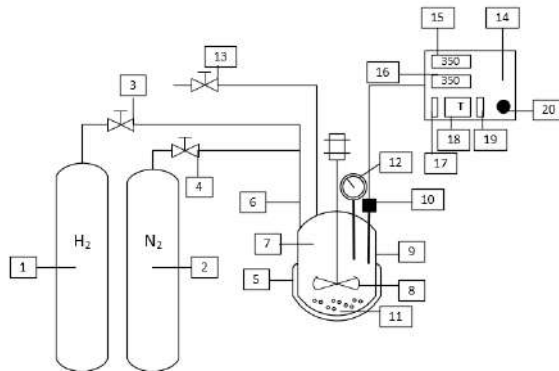
11. *Vakuum flash*

12. Gas Keluar

13. Air

14. Kompresor

2. Peralatan *Hydrocracking*



Gambar 3.2 Peralatan Proses *Hydrocracking*

Keterangan gambar:

- | | |
|---|--|
| 1. Tabung gas N ₂ | 13. <i>Pressure release control</i> |
| 2. Tabung gas H ₂ | 14. Panel control <i>heater</i> -reaktor |
| 3. <i>Valve tube</i> gas N ₂ | 15. <i>Display</i> suhu reaktor |
| 4. <i>Valve tube</i> gas H ₂ | 16. <i>Display</i> suhu <i>setpoint</i> |
| 5. <i>Heater</i> | 17. Tombol ON panel control <i>heater</i> -reaktor |
| 6. <i>Tube</i> reaktor gas N ₂ /H ₂ | 18. Tombol ON <i>heater</i> |
| 7. Minyak biji kapuk randu | 19. Tombol ON pengaduk |
| 8. Pengaduk | 20. Tombol pengaturan kecepatan pengaduk |
| 9. Reaktor | |
| 10. <i>Thermocouple</i> | |
| 11. Katalis | |
| 12. Indikator tekanan reaktor | |

III.2 Parameter yang Digunakan

III.2.1 Parameter Tetap

- | | |
|---------------------|---------------------------|
| Bahan baku | : Minyak biji kapuk randu |
| Jenis katalis | : Zn-Mo/HZSM-5 |
| Massa katalis total | : 1 gram |

Volume minyak biji kapuk : 200 mL
Tekanan : 60 bar

III.2.2 Parameter Berubah

1. Kondisi Operasi Katalis
 - a. Perbandingan logam Zn-Mo (1:3) dan (1:4)
 - b. Presentase *loading* Zn-Mo terhadap katalis total: 5% dan 10%
2. Kondisi Operasi Proses *Catalytic Hydrocracking*
 - a. Suhu reaksi ($^{\circ}\text{C}$) = 350, 375, 400
 - b. Waktu reaksi (menit) = 120

III.3 Parameter yang Dianalisa

III.3.1 Bahan Baku Minyak Biji Kapuk Randu

Gas Chromatography Mass Spectrofotometer (GC-MS).

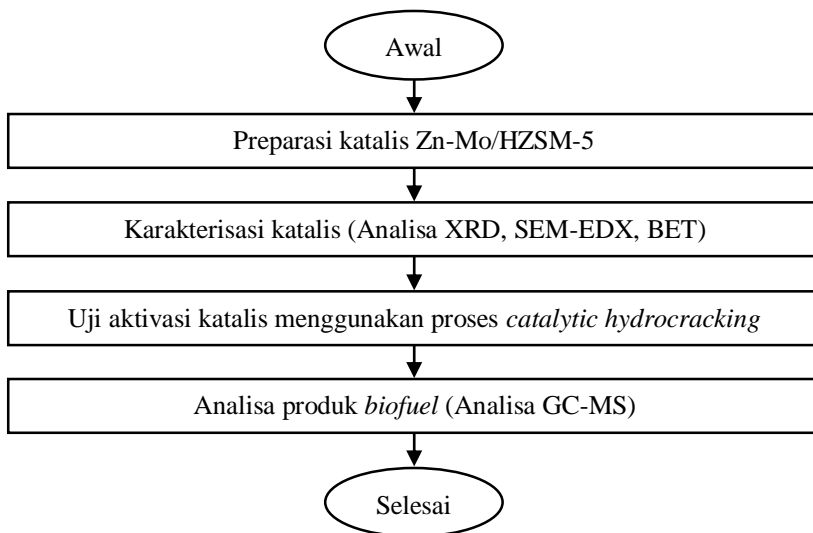
III.3.2 Katalis Zn-Mo/HZSM-5

X-Ray Diffraction (XRD), *Brunauer Emmet Teller* (BET), *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Energy Dispersion X-Ray Spectroscopy* (EDX).

III.3.3 Produk Biofuel

Gas Chromatogratoraphy Mass Spectrofotometer (GC-MS).

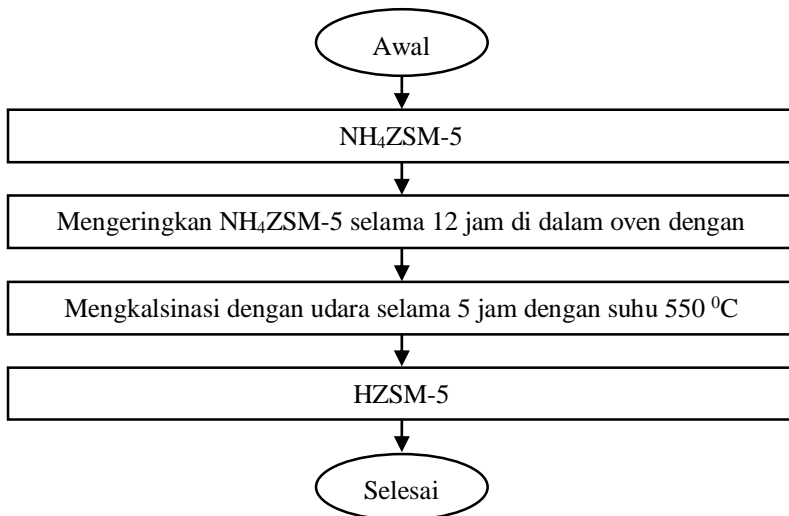
III.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Prosedur Penelitian

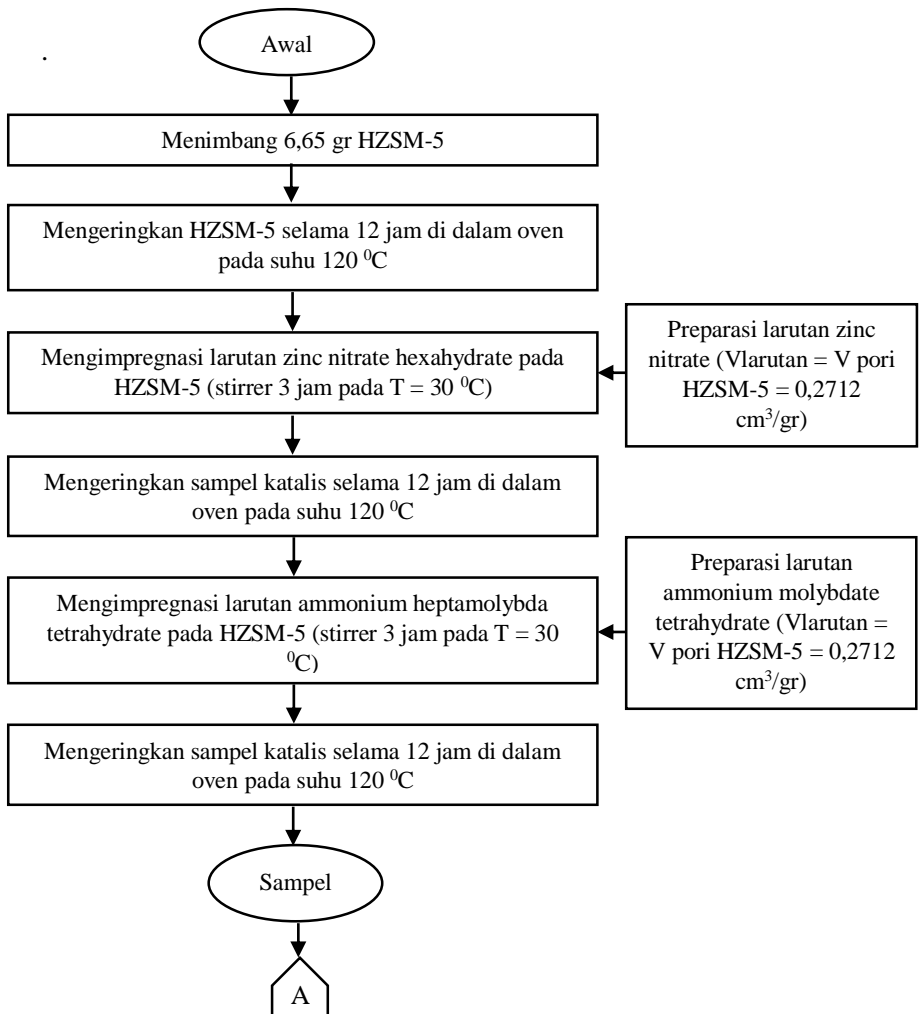
III.4.1 Pembuatan Katalis

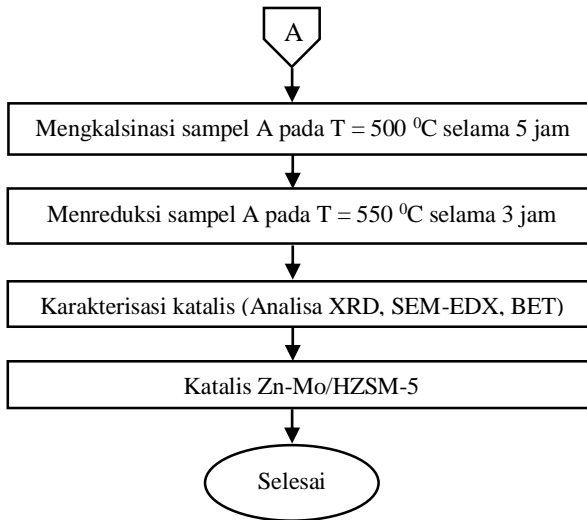
- Preparasi $\text{NH}_4\text{ZSM-5}$ menjadi HZSM-5



Gambar 3.4 Diagram Alir Pengubahan $\text{NH}_4\text{ZSM-5}$ menjadi HZSM-5

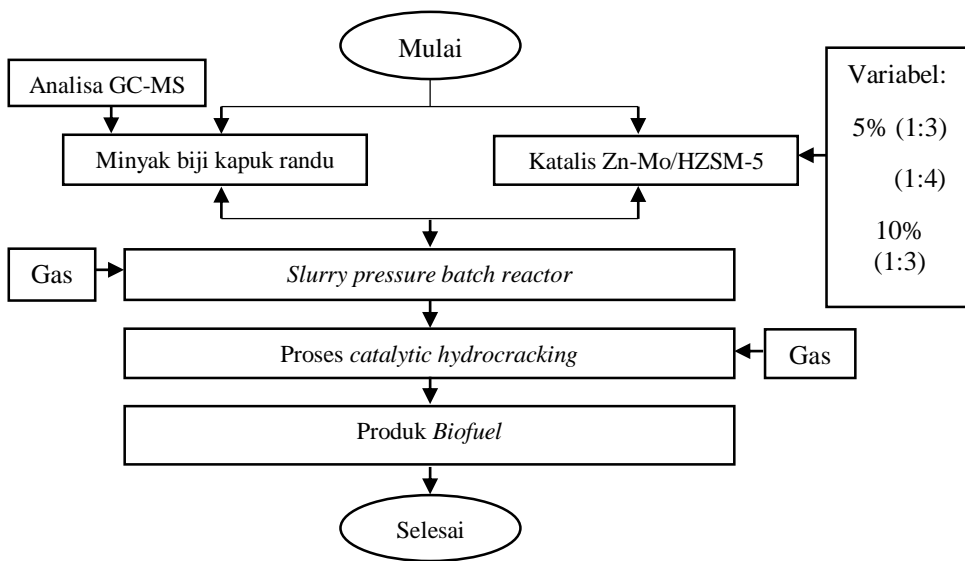
- Preparasi katalis Zn-MO/HZSM-5 loading 5% (1:3)





Gambar 3.5 Diagram Alir Prosedur Preparasi Katalis Zn-Mo/HZSM-5

III.4.2 *Catalytic Hydrocracking* Minyak Biji Kapuk Randu



Gambar 3.6 Diagram Alir *Catalytic Hydrocracking* Minyak Biji Kapuk Randu

III.5 Prosedur Penelitian

III.5.1 Pembuatan Katalis

- Preparasi katalis zeolite
 1. $\text{NH}_4\text{ZSM-5}$ dikeringkan 12 jam dalam oven pada suhu 110°C .
 2. Melakukan kalsinasi pada suhu 550°C menggunakan udara selama 5 jam.
- Impregnasi logam

HZSM-5 sebagai support diimpregnasi dengan garam logam yaitu $\text{N}_2\text{O}_6\text{Zn} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dengan menggunakan prosedur yang dilakukan oleh Sartipi dkk (2013) dan Haber dkk (1995).

Tahapannya sebagai berikut:

1. Zeolit sintesis HZSM-5 dikeringkan selama 12 jam dalam oven pada suhu 110°C untuk mengurangi senyawa yang terserap pada permukaan.
2. Melakukan impregnasi larutan $\text{N}_2\text{O}_6\text{Zn} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (konsentrasi variable) dengan cara ditambahkan sedikit demi sedikit ke zeolite sampai larutan habis.
3. Melakukan pengadukan selama 3 jam menggunakan *stirrer*.
4. Katalis dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 12 jam.
5. Melakukan impregnasi larutan $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (konsentrasi variable) dengan cara ditambahkan sedikit demi sedikit ke zeolite sampai larutan habis.
6. Melakukan tahap 3 dan 4.
7. Melakukan kalsinasi dengan gas N_2 pada suhu 500°C selama 5 jam dan dilanjutkan proses reduksi dengan gas H_2 pada suhu 550°C selama 3 jam.
8. Setelah melakukan reduksi, aliran gas H_2 dan *heater* dimatikan namun gas N_2 tetap dialirkan hingga katalis mencapai suhu ruangan.

III.5.2 Karakterisasi Katalis

Untuk mengetahui hasil preparasi yang baik, maka perlu dilakukan karakterisasi katalis yaitu:

- Analisa morfologi dan komposisi logam-logam menggunakan analisa SEM-EDX.
- Analisa luas permukaan katalis Zn-Mo/HZSM-5 menggunakan analisa BET.
- Analisa kristalinitas katalis Zn-Mo/HZSM-5 menggunakan analisa XRD.

III.5.3 Proses *Catalytic Hydrocracking*

1. Menimbang 1 gram katalis.
2. Memasukkan katalis dalam reaktor *hydrocracking*.
3. Memasukkan 200 ml bahan baku minyak biji kapuk randu ke dalam tangka reaktor.

4. Mengalirkan gas N₂ ke dalam reaktor untuk menghilangkan oksigen.
5. Mengalirkan gas H₂ ke dalam reaktor, kemudian menutup *valve inlet* hidrogen.
6. Menghidupkan *heater* dan pengaduk reaktor.
7. Memulai proses *catalytic hydrocracking* dengan mengatur setting suhu proses sesuai variable suhu yang ditetapkan.
8. Setelah mencapai suhu variable, membiarkan reaksi berjalan selama 2 jam untuk setiap variable suhu.
9. Mengambil sampel sampel keluar dan menyaring sampel.
10. Menganalisa sampel dengan analisa GC-MS.
11. Percobaan diulangi untuk variable perbandingan komposisi katalis lainnya.

III.6 Teknik Analisa Data dan Penyimpulan

Biofuel yang diperoleh dari proses *hydrocracking* minyak biji kapuk randu menggunakan katalis padat dianalisis dengan metodologi *Gas Chromatography Mass Spectrofotometry* (GC-MS) untuk mengetahui *retention time* komposisi *gasoline*, *kerosene*, dan *gas oil*. Katalis yang didapat dari analisis dengan menggunakan metode XRD untuk mengetahui fase Kristal yang terbentuk, *Brunauer Emmet Teller* (BET) untuk mengetahui luas permukaan katalis dan SEM-EDX untuk mengidentifikasi komposisi logam yang tergantung dalam katalis.

Parameter yang diukur adalah *yield biofuel* dalam %. Dengan asumsi % luas area senyawa yang didapatkan dari uji analisa GC-MS ekuivalen dengan % berat senyawa tersebut.

$$Yield\ gasoline = \frac{\% \text{ kadar } gasoline \times \text{berat total produk}}{\text{berat umpan}} \times 100\%$$

$$Yield\ kerosene = \frac{\% \text{ kadar } kerosene \times \text{berat total produk}}{\text{berat umpan}} \times 100\%$$

$$Yield\ gas\ oil = \frac{\% \text{ kadar } gas\ oil \times \text{berat total produk}}{\text{berat umpan}} \times 100\%$$

Untuk menganalisis pengaruh variable terhadap parameter yang diuji maka dilakukan *plotting* data antara *yield* vs suhu dengan setiap perbandingan rasio katalis dan kadar logam.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Minyak Biji Kapuk Randu

Produksi *biofuel* dengan kualitas yang baik menggunakan minyak nabati sangat bergantung pada jenis bahan baku yang digunakan. Komposisi kimia dari bahan baku akan mempengaruhi parameter proses yang digunakan seperti tipe katalis, suhu dan waktu reaksi sehingga akan mempengaruhi nilai *yield* dan konversi produk yang diinginkan. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak biji kapuk randu (*Ceiba pentandra*) yang berasal dari perkebunan kapuk randu di daerah Pasuruan, Jawa Timur. Minyak biji kapuk randu yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 4.1**. Dapat dilihat bahwa minyak biji kapuk randu hasil ekstraksi berwarna kuning cerah. Selain itu minyak biji kapuk randu juga memiliki bau yang khas.



Gambar 4.1 Minyak Biji Kapuk Randu (*Ceiba Pentandra*)

Minyak biji kapuk randu yang akan digunakan sebagai bahan baku pembuatan *biofuel* terlebih dahulu dianalisa menggunakan GCMS untuk mengetahui kandungan senyawa yang terdapat didalamnya. Hasil analisa GCMS berupa spektra GCMS minyak biji kapuk randu dapat dilihat pada **Gambar 4.2** berikut.

randu stabil dalam suhu ruangan. Asam lemak tak jenuh yang terdapat dalam minyak biji kapuk randu berperan dalam konversi minyak nabati menjadi *biofuel*.

Tabel 4.1 Hasil Analisa Komposisi Senyawa Dalam Minyak Biji Kapuk Randu (*Ceiba pentandra*) Menggunakan GCMS

Komposisi Asam	Rumus Molekul	Kadar (%berat)
Asam Linoleat (C18:2)	$C_{18}H_{32}O_2$	71.18
Asam Palmitat (C16:0)	$C_{16}H_{32}O_2$	19.06
Asam Pelargonat (C9)	$C_9H_{18}O_2$	0.03
Oxacyclohexadecan-2-one	$C_{15}H_{28}O_2$	0.01
Senyawa lainnya	-	9.70
Total		99.98

Data pada **Tabel 4.1** yang menunjukkan bahwa minyak biji kapuk randu mengandung 90.27% asam lemak berupa asam karboksilat dimana komposisi terbesar dimiliki oleh asam linoleat sebesar 71.18%. Di sisi lain komposisi asam lemak trigliserida lainnya adalah asam palmitat dengan 19.06% dan asam pelargonat 0.03%. Hal ini bersesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Silitonga dkk (2013) dimana dua kandungan asam lemak trigliserida dominan pada minyak biji kapuk randu (*Ceiba pentandra*) merupakan asam linoleat dan asam palmitat.

Karakteristik minyak biji kapuk randu dintinjau dari sifat fisik dan kimia dianalisa menggunakan metode ASTM dan SNI yang ditunjukkan pada **Tabel 4.2**. Minyak biji kapuk randu memiliki nilai densitas sebesar 0.891 gr/cm^3 yang memiliki nilai yang bersesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Silitonga dkk (2013) yaitu 0.876 gr/cm^3 . Nilai viskositas kinematik minyak biji kapuk randu dianalisa menggunakan metode ASTM D445-97 dimana pada 40°C nilai viskositas kinematik yang didapatkan adalah 37.47 cSt. Nilai viskositas kinematik yang diperoleh bersesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Vedharaj dkk (2013) dimana nilai viskositas kinematik minyak biji kapuk randu sebesar 31.20 cSt. Nilai viskositas kinematik merupakan perbandingan antara nilai viskositas dinamik dengan densitas suatu

fluida. Nilai viskositas kinematik yang tinggi mengindikasikan banyaknya komposisi rantai silik pada senyawa asam lemak pada minyak biji kapuk randu (Rashid, 2014).

Tabel 4.2 Karakteristik Minyak Biji Kapuk Randu (*Ceiba pentandra*)

Properti	Minyak Biji Kapuk Randu	Metode Standar Analisa
Densitas (g/cm ³)	0.981	
Viskositas kinematik (cSt)	37.47	ASTM D445-97
Bilangan asam (mg KOH/g)	89.49	SNI 7431:2008
Bilangan iod (g.I ₂ /100g)	52.15	SNI 7381:2008
Titik nyala (°C)	308	ASTM D93

Bilangan asam minyak biji kapuk randu sebesar 89.49 mg KOH/g. Bilangan asam mengindikasikan adanya komponen asam lemak bebas dalam minyak nabati (Ong dkk, 2013). Bilangan asam menunjukkan banyaknya asam lemak bebas yang ada dalam minyak akibat terjadi reaksi hidrolisis pada minyak terutama pada saat pengolahan. Asam lemak merupakan struktur kerangka dasar untuk kebanyakan bahan lipid (Agoes dkk, 2008)

Bilangan iod mempengaruhi titik didih dan titik beku minyak nabati. Bilangan iod minyak biji kapuk randu berdasarkan Tabel 4.2 adalah 52.15 g.I₂/100g. Bilangan iod menunjukkan tingkat ketidak jenuhan atau banyaknya ikatan rangkap dua pada minyak biji kapuk randu. Bilangan iod juga dapat mempengaruhi stabilitas oksidasi dan polimerisasi gliserida (Ong dkk, 2013).

IV.2 Karakterisasi Katalis

Karakteristik katalis merupakan parameter penting dalam mengetahui aktivitas katalis. Diantaranya adalah komposisi kimia, tekstur dan morfologi, serta struktur padatan katalis. Karakteristik dibagi menjadi 2, yaitu parameter fisik dan kimia. Dalam penelitian ini karakteristik yang diujikan adalah karakteristik fisik, diantaranya adalah uji *X-ray Powder diffraction* (XRD), *Scanning*

Electron Microscopy (SEM) - *Energy Dispersion X-Ray Spectroscopy* (EDX), dan uji *Brunauer Emmet Teller* (BET).

ZSM-5 (*Zeolit Secony Mobile-5*) merupakan zeolite jenis baru yang mendapat perhatian khusus untuk dikembangkan sebagai katalis. Jenis Zeolit ini memiliki pori-pori diantara *Faujasite* dan Zeolit A. Zeolit ini sudah berhasil diaplikasikan pada pembuatan *gasoline* dari metanol dan pada kebutuhan lainnya (Richardson, 2015). Katalis untuk proses *Hydrocracking* harus dikombinasikan dengan komponen asam untuk memecah ikatan dan logam untuk reaksi hidrogenasinya. Logam yang sering digunakan sebagai katalis pada reaksi *Hydrocracking* diantaranya adalah Co, Mo, Ni atau W. Design parameter untuk katalis pada proses *Hydrocracking* diantaranya adalah (a) tingkat keasaman, (b) Aktivitas hidrogenasi, (c) Luas Permukaan, dan (d) porositas (Bartholomew, 1982). Katalis yang digunakan adalah ZnMo/HZSM-5 pada penelitian ini. Logam Zn ini berfungsi sebagai menambah tingkat keasaman dari pada support HZSM-5. Sedangkan logam Mo dan suhu berfungsi pada aktivitas hidrogenasi. Suhu yang optimal untuk aktivitas hidrogenasi adalah pada *range* 300 ° C – 400 ° C (Atsonios dkk, 2018). Luas permukaan merupakan parameter selanjutnya pada katalis proses *Hydrocracking*. Luas permukaan suatu katalis bisa diketahui dengan uji *Brunauer Emmet Teller* (BET). Dalam uji BET ini, dapat diketahui luas area katalis, diameter pori katalis, serta volume pori. **Tabel 4.3** merupakan hasil uji BET dan XRD katalis ZnMo/HZSM-5 .

Tabel 4.3 Data Analisa BET Katalis ZnMo/HZSM-5

No.	Jenis Katalis	Luas Permukaan (m ² /gram)	Diameter Pori (nm)	Volume Pori (cm ³ /gram)	Elemen*	
					Zn	Mo
1.	H-ZSM-5	375.1210	2.4900	0.2712	-	-
2.	A1	307.8270	1.1528	0.1774	2,56	8,42
3.	A2	309.4960	1.1636	0.1801	3,26	8,90
4.	B1	258.9230	1.1899	0.1541	3,43	13,45
5.	B2	252.2000	1.1992	0.1512	2,9	17,71

*data analisa EDX

A1 = Zn-Mo/HZSM-5 loading logam 5%, rasio Zn-Mo = 1:3

A2 = Zn-Mo/HZSM-5 loading logam 5%, rasio Zn-Mo = 1:4

B1 = Zn-Mo/HZSM-5 loading logam 10%, rasio Zn-Mo = 1:3

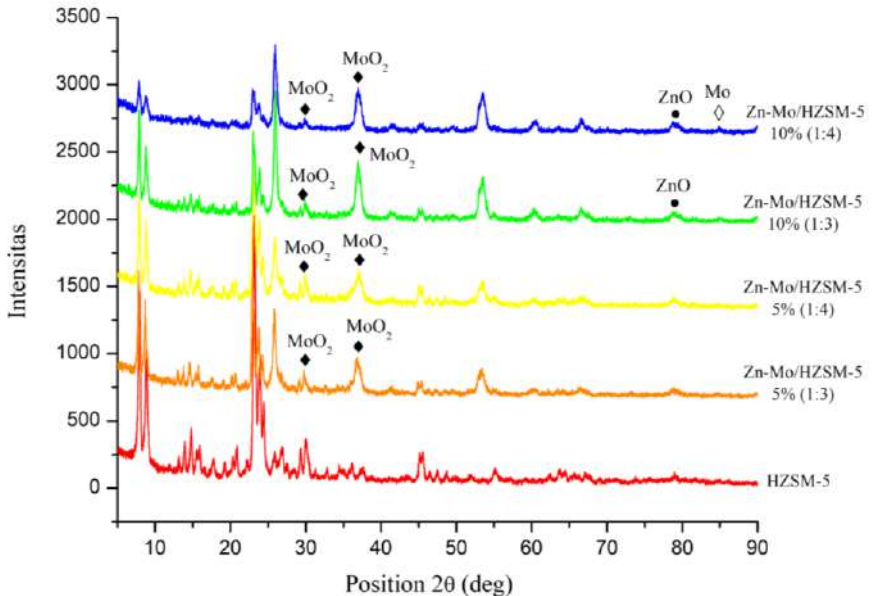
B2 = Zn-Mo/HZSM-5 loading logam 10%, rasio Zn-Mo = 1:4

Berdasarkan **Tabel 4.3**, HZSM-5 memiliki luas area yang besar yaitu 375,1210 m²/gram dan diameter pori 2,4900 nm. Luas permukaan memiliki kecenderungan menurun pada loading yang sama serta meningkatnya jumlah rasio Mo terhadap Zn. Katalis A1 memiliki luas permukaan 307,8270 m²/gram, sedangkan untuk katalis A2 memiliki luas permukaan 309,4960 m²/gram. Pada loading 5% ini dari katalis A1 dan A2 memiliki peningkatan *surface area* 0,5421 %. Sedangkan katalis B1 dan B2 memiliki luas area masing-masing 258,9230 m²/gram dan 252,2000 m²/gram. Pada loading 10% ini dari katalis B1 ke B2 memiliki penurunan 2,6 %. Secara umum, setelah impregnasi Zn dan Mo menurunkan *Specific Area* dari support HZSM-5. Berdasarkan data BET table 4.3 semakin meningkatkan loading ZnMo yang ditanamkan ke dalam support HZSM-5 maka luas permukaan semakin menurun karena jumlah ZnMo menutupi pori support yang menyebabkan luas permukaan menurun (Shi dkk, 2012). Berdasarkan rasio logam Zn:Mo luas permukaan pada katalis A2 meningkat 0,5321 % dari katalis A1. Hal tersebut dikarenakan logam Mo yang ditanamkan kedalam HZSM-5 berkurang, hal ini dibuktikan dengan ratio Zn:Mo setelah oksidasi reduksi adalah 1:3. Berkurangnya logam

Mo dikarena pada saat proses impregnasi larutan logam Mo dengan cara spray sebagian terbuang.

Diameter pori rata-rata untuk *support* HZSM-5 diketahui sekitar 2,4900 nm. Untuk katalis A1, A2, B1, dan B2 memiliki diameter rata-rata 1,1528 nm, 1,1636 nm, 1,1899 nm, dan 1,1992 nm. Penurunan diameter rata-rata pori berturut-turut terhadap HZSM-5 adalah 53.7028 %, 52.2128 %, 53.2691 %, dan 51.8394 %. Secara keseluruhan menurunnya *surface area* dan diameter rata-rata HZSM-5 mengindikasikan bahwa logam Zn dan Mo masuk kedalam pori-pori HZSM-5 (Liu dkk, 2012). Hubungan diameter pori dengan volume adalah semakin kecil diameter pori maka volume pori semakin kecil.

X-ray powder diffraction merupakan metode untuk mengetahui struktur dan morfologi katalis. Metode yang digunakan adalah dengan mengamati refleksi dari sample katalis yang diuji. Kemudian membandingkan dengan literatur yang adalah. Katalis yang diujikan diantara adalah Zn-Mo/HZSM-5 5% (1:3, 1:4) dan Zn-Mo/HZSM-5 10% (1:3, 1:4). **Gambar 4.3** merupakan hasil uji XRD katalis.



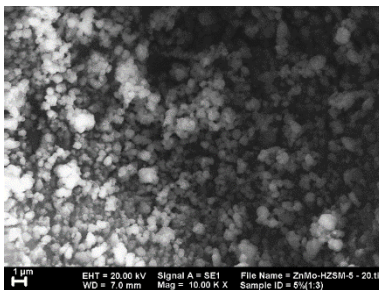
Gambar 4.3 Pola XRD Katalis

Berdasarkan pola XRD diatas, katalis ZnMo/HZSM-5 5% (1:3) didapatkan puncak utama difraktogram HZSM-5 pada $2\theta = 7,8234^\circ, 8,6765^\circ, 22,9304^\circ, 23,1562^\circ, \text{ dan } 23,7986^\circ$. Logam Zn ditemukan pada puncak $2\theta = 36,8266^\circ \text{ dan } 37,0104^\circ$. Oksida Logam ZnO ditemukan pada puncak $2\theta = 36,7932^\circ$. Logam MoO_2 ditemukan pada puncak defraktogram $2\theta = 26,1982^\circ \text{ dan } 37,0104^\circ$. Katalis ZnMo/HZSM-5 5% (1:4) didapatkan puncak utama difraktogram $2\theta = 7,8934^\circ, 8,7781^\circ, 22,9907^\circ, 23,2178^\circ, 23,8763^\circ, 24,3298^\circ, \text{ dan } 25,9244^\circ$. Oksida logam ZnO ditemukan pada puncak $2\theta = 36,2082^\circ$. Oksida logam MoO_2 ditemukan pada puncak $2\theta = 26,0478^\circ \text{ dan } 37,0939^\circ$. Katalis ZnMo/HZSM-5 10% (1:3) didapatkan puncak utama difraktogram HZSM-5 pada $2\theta = 7,8731^\circ, 8,7483^\circ, \text{ dan } 25,9494^\circ$. Oksida logam ZnO ditemukan pada puncak $2\theta = 67,4918^\circ$. Oksida Logam MoO_2 ditemukan pada puncak $2\theta = 26,0144^\circ \text{ dan } 37,0271^\circ$. Katalis ZnMo/HZSM-5 10% (1:4) didapatkan puncak utama difraktogram HZSM-5 pada $2\theta =$

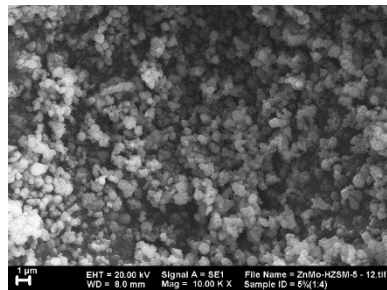
7,8633°, 8,8549°, dan 25,8376°. Puncak utama HZSM-5 pada tiap katalis diatas sesuai dengan puncak spesifik HZSM-5 murni yaitu pada sudut $2\theta = 7 - 9^\circ$ dan $23 - 25^\circ$. Oksida logam ZnO ditemukan pada puncak $2\theta = 67,9764^\circ$. Logam Mo ditemukan pada puncak $2\theta = 86,5928^\circ$ (Vichaphund dkk, 2015).

Pola difraktogram yang ditunjukkan masing-masing katalis sama dengan pola difraktogram HZSM-5. Hal ini dapat diindikasikan bahwa penambahan logam Zn dan Mo dengan cara impregnasi tidak mempengaruhi struktur support HZSM-5. Intensitas puncak pada masing-masing katalis memiliki kecenderungan lebih rendah dari pada HZSM-5, karena penambahan logam Zn dan Mo menurunkan intensitas HZSM-5. Logam murni yang terdeteksi oleh difraktogram hanya terdeteksi pada katalis ZnMo/HZSM-5 10% (1:4) pada $2\theta = 86,5928^\circ$. Logam murni yang terdapat pada masing-masing katalis sulit untuk diteksi pada pola difraktogram, karena persebaran logam Zn dan Mo merata pada support HZSM-5 (Ishihara dkk, 2014).

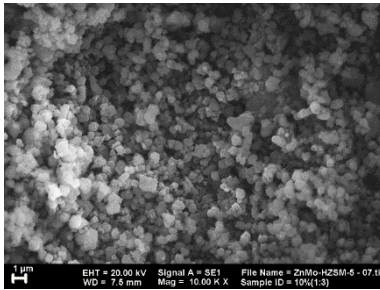
Scanning electron Microscopy adalah salah satu metode untuk mengetahui bentuk topographi/morfologi sample. Morfologi yang bisa diamati diantaranya bentuk kristal, ukuran, dan persebaran partikel dalam sample. **Gambar 4.4** merupakan hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM) sampel katalis ZnMo/HZSM-5.



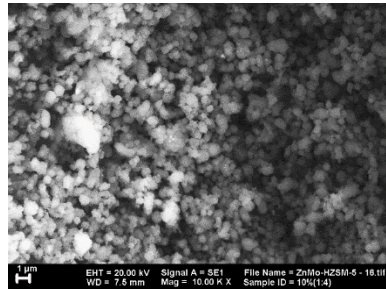
(a)



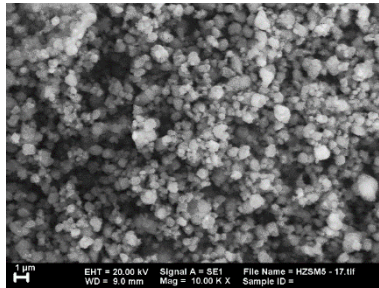
(b)



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.4 Hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM). (a) ZnMo/HZSM-5 5% (1:3), (b) ZnMo/HZSM-5 5% (1:4), (c) ZnMo/HZSM-5 10% (1:3), (d) ZnMo/HZSM-5 10% (1:4), (e) HZSM-5

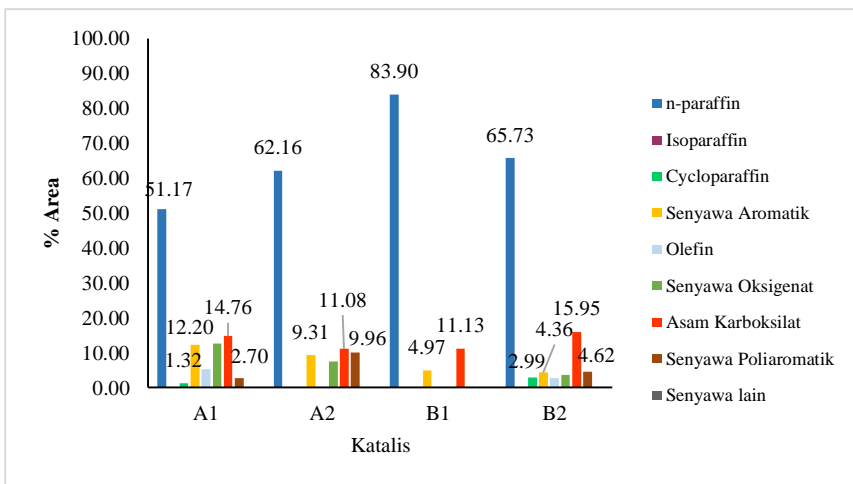
Gambar 4.4 menunjukkan hasil gambar SEM sample katalis ZnMo/HZSM-5. Bentuk partikel sebagai support HZSM-5 setelah penambahan Zn dan Mo pada setiap sample katalis tidak mengalami perubahan bentuk partikel. Selain itu, terjadi aglomerasi pada tiap sample katalis. Aglomerasi terjadi pada saat oksidasi dan reduksi katalis. Aliran *flow* baik udara atau H_2 pada saat kalsinasi terlalu cepat, sehingga terjadi penempelan partikel-partikel kecil menjadi lebih besar. Berdasarkan gambar diatas hasil SEM sebelum (e) dan sesudah impreg menunjukkan hasil yang sama yang mengindikasikan bahwa setelah impregnasi logam Zn dan Mo tidak merubah struktur HZSM-5, hal serupa juga

ditunjukkan oleh pola XRD di tiap-tiap katalis yang sama (Shi dkk, 2012).

IV.3 Hasil *Catalytic Hydrocracking* Minyak Biji Kapuk Randu

IV.3.1 Pengaruh Suhu Reaksi dan Katalis Terhadap Pembentukan Komposisi *Biofuel*

Proses *hydrocracking* biasanya terjadi pada suhu 300 °C – 400 °C dan pada tekanan H₂ 6 MPa – 20 MPa. Pada minyak biji kapuk terdapat ikatan rangkap (C=C), pada proses *hydrocracking* ini ikatan rangkap tersebut dipecah dan dikonversikan menjadi ikatan tunggal. Reaksi yang terjadi pada proses *hydrocracking* ini diantara adalah hydro-deoxygenation (HDO), hydro-decarboxylation (HDXC), dan hydro-decarbonylation (HDCN). Pada proses HDO akan terbentuk alkane dan oksigen yang bereaksi dengan hydrogen membentuk air. HDXC dan HDCN akan terbentuk air serta karbon karbon dioksida (CO₂, HDXC), dan karbon monoksida (CO, HDCN) (Sonthalia & Kumar, 2017). Hasil dari *hydrocracking* minyak biji kapuk ini adalah biofuel dengan campuran hidrokarbon dan senyawa-senyawa lainnya sebagai hasil sampingan reaksi. Hidrokarbon dibagi menjadi 2 yaitu hidrokarbon *aliphatic* dan *aromatic*. Aliphatic terdiri dari alkane, isoalkane, dan siklo-alkane. Aromatik dalam hidrokarbon seperti benzene, indane, dan naphthalene sebagai senyawa Poliaromatik Hidrokarbon (Speight & El-Gendy, 2018). Komposisi produk hasil proses *Hydrocracking* minyak biji kapuk diantara digolongkan berdasarkan berdasarkan hasil GCMS produk biofuel, diantaranya adalah n-paraffin, Isoaraffin, Cycloparaffin, Senyawa Aromatik, Senyawa Poliaromatik, Olefin, senyawa oxygenated, asam karboksilat, dan senyawa lainnya. Suhu operasi dalam penelitian ini adalah 350 °C, 375 °C, dan 400 °C. Berikut merupakan grafik 4.4 komposisi produk biofuel pada suhu 350 °C.

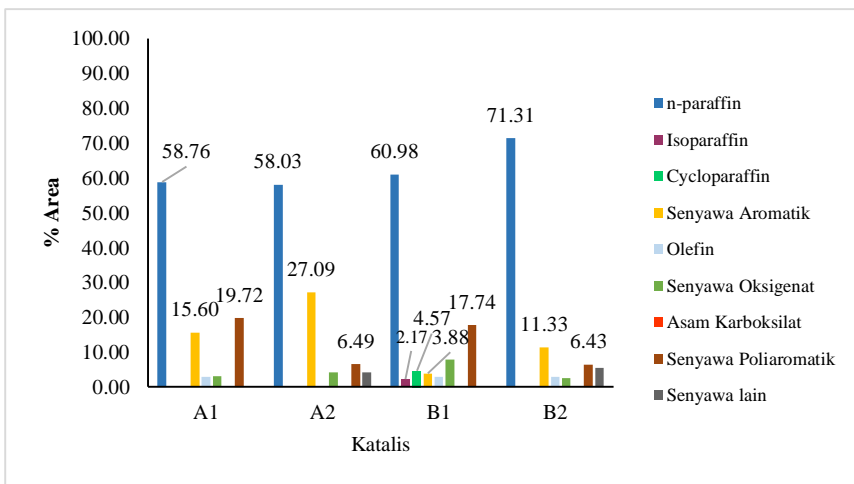


Gambar 4.5 Performa Katalis dalam pembentukan komposisi produk proses *Hydrocracking* minyak biji kapuk pada suhu 350 °C dan Tekanan 60 bar

Berdasarkan **Gambar 4.5** diatas pada suhu reaksi 350 °C komposisi utama yang dihasilkan adalah n-paraffin (C₁₁-C₁₈). Hal tersebut sesuai dengan (Atsonios dkk, 2018), bahwa suhu 300-400 °C merupakan suhu terbaik pada proses HDO dalam pembentukan n-paraffin. Katalis yang digunakan adalah ZnMo/HZSM-5. Logam Zn diimpregkan kedalam pori penyangga berupa HZSM-5 dimaksudkan untuk menambah keasaman daripada sisi aktive katalis serta mendorong reaksi *deoxygenation* untuk memproduksi hidrokarbon (Zhao dkk,2016). Sedangkan untuk logam Mo diimpregkan kedalam pori HZSM-5 dimaksudkan untuk meningkatkan produk berupa senyawa aromatik dan paraffin (Teixeira dkk, 2016). Katalis **A1** merupakan **ZnMo/HZSM-5 5% (1:3)**, Katalis **A2** merupakan **ZnMo/HZSM-5 5% (1:4)**, Katalis **B1** merupakan **ZnMo/HZSM-5 10% (1:3)**, dan katalis **B2** merupakan **ZnMo/HZSM-5 10% (1:4)**. Performa katalis A1 menghasilkan komposisi biofuel berupa n-paraffin 51,17%, Cycloparaffin 1,32%, senyawa aromatik 12,20%, dan senyawa poliaromatik 2,70%. Katalis A2 menghasilkan komposisi berupa

n-paraffin 62,16%, senyawa aromatic 9,31%, dan senyawa poliaromatik 9,96%. Katalis B1 menghasilkan komposisi berupa n-paraffin 83,90% dan senyawa aromatik 4,97%. Sedangkan untuk katalis B2 menghasilkan komposisi berupa n-paraffin 65,73%, cycloparaffin 2,99%, senyawa aromatik 4,36%, dan senyawa poliaromatik 4,62%.

Aktivitas katalis dalam pembentukan n-paraffin berturut-turut $B1 > B2 > A2 > A1$. Terlihat bahwa katalis B1 memiliki aktifitas yang tinggi dalam pembentukan n-paraffin yaitu 83,90%. Logam Zn dan Mo berhasil diimpregkan berdasarkan hasil Analisa BET katalis berupa pori yang awalnya pori HZSM-5 murni adalah 2.49 nm menjadi 1.1636 nm serta memiliki volume terbesar yaitu 0,1801 cm³/gram. Selain itu, aktivitas katalis B1 pada suhu 350 °C tidak menghasilkan poliaromatik sebagai fungsi dari pada logam Mo, sehingga n-paraffin bisa terbentuk lebih banyak (Teixeira dkk, 2017). Pada temperature 350 °C masih terdapat asam karboksilat yang tidak terkonversi menjadi paraffin karena pada suhu ini reaksi pemecahan minyak biji kayu randu tidak optimal (Zhao dkk, 2016). Dibawah ini merupakan gambar performa katalis pada suhu 375 °C:

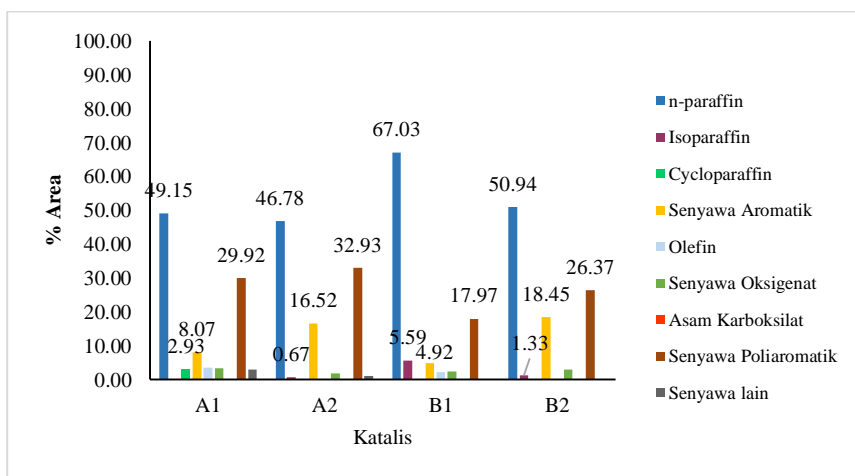


Gambar 4.6 Performa Katalis dalam pembentukan komposisi produk proses *Hydrocracking* minyak biji kapuk pada suhu 375 °C dan tekanan 60 bar

Gambar 4.6 diatas merupakan performa katalis pada suhu reaksi 375 °C, dapat dilihat bahwa minyak biji kapuk randu terkonversi semua menjadi produk dan co-produk karena tidak adanya asam karboksilat yang ditemukan dalam produk akhir. Hal tersebut berbeda dengan suhu reaksi 350 °C yang masih ditemukannya senyawa asam karboksilat. Performa katalis A1 menghasilkan komposisi biofuel berupa n-paraffin 58,76%, senyawa aromatik 15,60%, dan senyawa poliaromatik 19,72%. Katalis A2 menghasilkan komposisi berupa n-paraffin 58,03%, senyawa aromatik 27,09%, dan senyawa poliaromatik 6,49%. Katalis B1 menghasilkan komposisi berupa n-paraffin 60,98%, Isoparaffin 2,17%, cycloparaffin 4,57%, senyawa aromatik 3,88%, dan senyawa poliaromatik 17,74%. Sedangkan untuk katalis B2 menghasilkan komposisi berupa n-paraffin 71,31%, senyawa aromatik 11,33%, dan senyawa poliaromatik 6,43%.

Pada suhu reaksi 375 °C ini ditiap-tiap katalis komposisi terbanyaknya adalah n-paraffin. N-paraffin yang terbanyak

dihasilkan oleh katalis $B2 > B1 > A1 > A2$. Senyawa poliaromatik merupakan senyawa yang dihasilkan oleh penyangga HZSM-5 yang sifatnya adalah mendeaktivasikan katalis itu sendiri (Teixeira dkk, 2016), sehingga keberadaan poliaromatik harus sedikit. Namun, pada suhu 375 °C senyawa poliaromatik muncul pada produk akhir. Sehingga, semakin banyak terdapat senyawa poliaromatik maka jumlah paraffin yang dihasilkan akan semakin berkurang. Dibawah ini merupakan gambar performa katalis pada suhu 400 °C:



Gambar 4.7 Performa Katalis dalam pembentukan komposisi produk proses *Hydrocracking* minyak biji kapuk pada suhu 400 °C dan tekanan 60 bar

Gambar 4.7 diatas merupakan performa katalis pada suhu reaksi 400 °C, dapat dilihat bahwa minyak biji kapuk randu terkonversi semua menjadi produk dan co-produk karena tidak adanya asam karboksilat yang ditemukan dalam produk akhir sama seperti pada suhu reaksi 375 °C. Hal tersebut berbeda dengan suhu reaksi 350 °C yang masih ditemukannya senyawa asam karboksilat. Performa katalis A1 menghasilkan komposisi biofuel

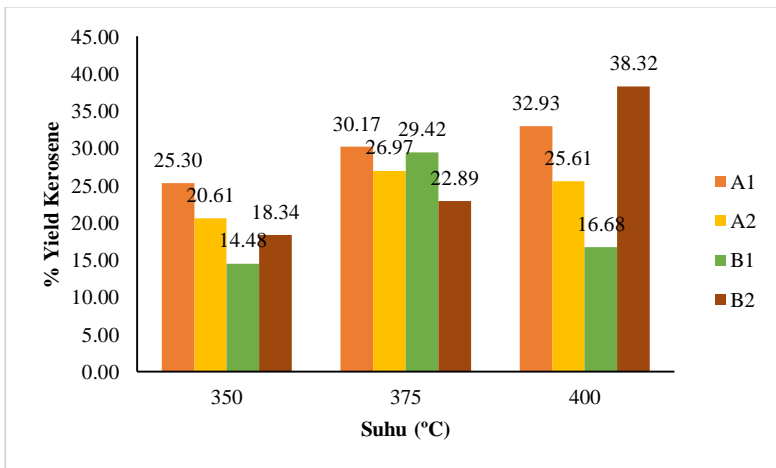
berupa n-paraffin 49,15%, cycloparaffin 2,93%, senyawa aromatik 8,07%, dan senyawa poliaromatik 29,92%. Katalis A2 menghasilkan komposisi berupa n-paraffin 46,78%, isoparaffin 0,67%, senyawa aromatik 16,52%, dan senyawa poliaromatik 32,93%. Katalis B1 menghasilkan komposisi berupa n-paraffin 67,03%, Isoparaffin 5,59%, senyawa aromatik 4,92%, dan senyawa poliaromatik 17,97%. Sedangkan untuk katalis B2 menghasilkan komposisi berupa n-paraffin 50,94%, isoparaffin 1,33%, senyawa aromatik 18,45%, dan senyawa poliaromatik 26,37%.

Pada suhu reaksi 400 °C ini komposisi terbanyak pada tiap-tiap katalis dalam proses ini adalah n-paraffin. N-paraffin terbesar berturut-turut adalah B1>B2>A1>A2. Dapat dilihat dalam grafik bahwa pada suhu reaksi 400 °C ini terbentuknya senyawa poliaromatik terbanyak yang ditemukan pada produk akhir biofuel. Senyawa poliaromatik ini menyebabkan *coke* dan deaktivasi katalis. Pada katalis B1 senyawa poliaromatik terbentuk 17,97 %, dimana jumlah ini paling sedikit terbentuk jika dibandingkan dengan katalis-katalis lainnya. Hal ini menyebabkan proses deaktivasi katalis lebih lambat bila dibandingkan dengan katalis lainnya. Oleh sebab itu, katalis B1 tetap berlangsung proses HDO untuk mengkonversikan minyak biji kapuk menjadi paraffin serta katalis B1 menghasilkan jumlah n-paraffin terbanyak bila dibandingkan dengan katalis yang lain. Pada suhu reaksi 400 °C ini, jumlah senyawa poliaromatik berbanding terbalik dengan jumlah n-paraffin. Pembentukan aromatic semakin meningkat seiring meningkatnya suhu reaksi, hal ini juga di kemukakan oleh Verma bahwa dalam *hydrocracking* minyak nabati pembentukan aromatik tertinggi pada suhu 400 °C (Verma dkk, 2015).

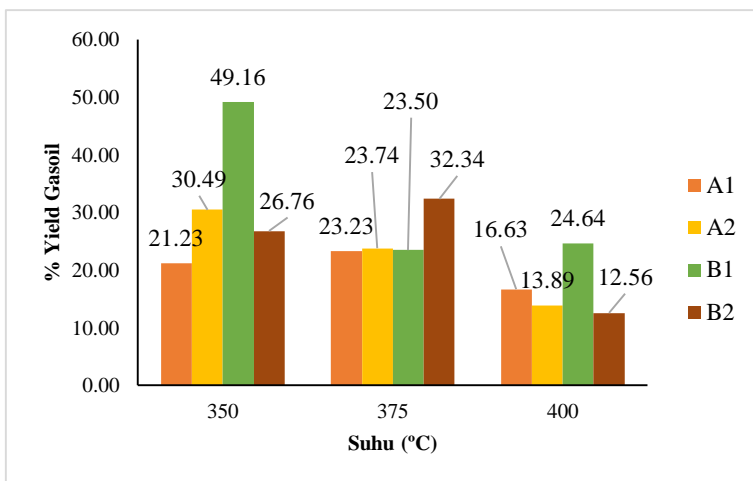
IV.3.2 Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap *yield* Pembentukan Bio-Kerosene dan bio-gasoil

Proses *hydrocracking* dapat mengkonversi bahan baku minyak nabati menjadi biofuel dengan *yield* yang tinggi. Triglycerides merupakan zat yang terdapat dalam minyak nabati yang dapat dikonversikan menjadi n-paraffin dan isoparaffin dalam

range *gasoline* dan *diesel*. Kelebihan daripada produk biofuel yang dihasilkan diantaranya adalah nilai kalor yang tinggi, nilai cetane number tinggi, stabilitas oksidasi yang stabil. Hasil proses konversi minyak nabati menjadi biofuel menggunakan proses *hydrocracking* memiliki kesamaan dengan fossil *fuels* (Sonthalia dkk, 2017). Fraksi produk biofuel hasil konversi minyak biji kapuk melalui proses *hydrocracking* diantaranya fraksi gasoline/bensin (C_5-C_9), fraksi kerosene ($C_{10}-C_{14}$), dan fraksi gasoil ($C_{15}-C_{18}$) (Anand dkk, 2016). Berdasarkan hasil percobaan serta Analisa di dapatkan dua fraksi utama dalam produk biofuel, yaitu fraksi kerosene dan fraksi gasoil. Berikut ini merupakan gambar pengaruh suhu terhadap yield kerosene ($C_{10}-C_{14}$). Dibawah ini merupakan gambar *yield* pembentukan Kerosene dan gas oil pada suhu reaksi 350 °C, 375 °C, dan 400 °C:



(a)



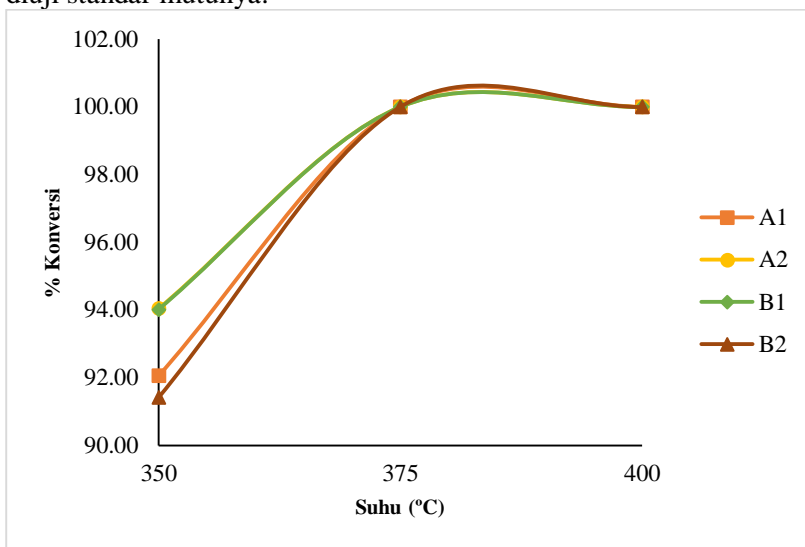
(b)

Gambar 4.8 Pengaruh Suhu Reaksi terhadap *yield* pembentukan
(a) *Kerosene*, (b) *Gasoil*

Pada **Gambar 4.8 (a)** merupakan grafik *yield* pembentukan *kerosene* pada suhu 350 °C – 400 °C. Berdasarkan gambar tersebut katalis A1 dan B2 memiliki kecenderungan *yield kerosene* meningkat seiring bertambahnya suhu reaksi, hal ini sesuai dengan yang disampaikan oleh Verma dkk dalam jurnalnya. Sedangkan untuk Katalis A2 dan B1 memiliki kecenderungan *yield* meningkat dari suhu 350 °C – 375 °C dan menurun pada rentang suhu 375 °C - 400 °C. Pada suhu 350 °C dan 375 °C *yield kerosene* terbaik pada katalis **A1 [ZnMo/HZSM-5 5% (1:3)]** berturut-turut adalah 25,30% dan 30,17%. Suhu reaksi 400 °C *yield* terbaik pada katalis **B2 [ZnMo/HZSM-5 10% (1:4)]** sebesar 38,32 %.

Berbeda dengan *yield kerosene*, **Gambar 4.8 (b)** merupakan grafik *yield* pembentukan *gasol* (C₁₅-C₁₈) pada range suhu reaksi 350°C – 400°C. Katalis A1, A2, B1, dan B2 memiliki kecenderungan semakin meningkatnya suhu reaksi, maka *yield* pembentukan *gasol* semakin menurun. *Yield gasol* pada suhu 350

°C dan 400 °C dihasilkan oleh katalis **B1 [ZnMo/HZSM-5 10% (1:3)]** berturut-turut sebesar 49,16% dan 24,64%. Sedangkan pada suhu reaksi 375 °C di hasilkan pada katalis **B2 [ZnMo/HZSM-5 10% (1:4)]** sebesar 32,34%. Hal ini di sebabkan karena semakin meningkatnya suhu maka semakin meningkat pula reaksi pemecahan/cracking rantai hidrokarbon Panjang menjadi ranta hidrokarbon yang lebih pendek. Sehingga menyebabkan yield pembentukan gasoil menurun seiring meningkatnya suhu reaksi (Verma dkk, 2014). Berdasarkan SK Dirjen Migas No.2674 K/24/DJm/2006 mengenai standar mutu (karakterisasi) minyak tanah dan solar Indonesia, produk biofuel yang didapatkan belum diuji standar mutunya.



Gambar 4.9 Pengaruh Suhu Reaksi terhadap konversi minyak biji kapuk randu pada tiap-tiap katalis

Minyak biji kayu randu di *hydrocracking* pada suhu reaksi 350 °C, 375 °C, dan 400 °C dengan menggunakan katalis A1, A2, B1, dan B2. Hasil konversi minyak biji kapuk ditunjukkan pada **Gambar 4.9**. Hasil dari grafik diatas menggambarkan bahwa untuk

tiap katalis pada suhu 350 °C memiliki konversi berturut-turut $A2 > B1 > A1 > B2$, katalis A1 sebesar 92,05%, katalis A2 konversi mencapai 94,03%, katalis B1 konversi mencapai 94,00%, dan katalis B2 konversi mencapai 91,41%. Setiap kenaikan suhu konversi minyak biji kapuk meningkat. Katalis A1, A2, B1, dan B2 konversi mencapai 100% pada suhu 375 °C dan 400 °C.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, bahwa reaksi *hydrocracking* terdiri dari beberapa reaksi diantaranya adalah reaksi *hydrodeoxygenation* (HDO) dan *hydrodecarboxylation* (HDC). *Hydrodeoxygenation* dalam proses ini cenderung menghasilkan n-paraffin C_{16} dan C_{18} , sedangkan untuk *hydrodecarboxylation* cenderung menghasilkan n-paraffin C_{15} dan C_{17} . Untuk mengetahui reaksi mana yang paling dominan dalam *hydrocracking* minyak biji kapuk dengan katalis ZnMo/HZSM-5 ini adalah dengan mengetahui rasio perbandingan $(C_{15}+C_{17})/(C_{16}+C_{18})$. Didapatkan bahwa dalam penelitian ini menghasilkan di setiap katalis dan suhu bahwa nilai $(C_{15}+C_{17}) > (C_{16}+C_{18})$. Oleh karena itu, pada penelitian *hydrocracking* minyak biji kapuk minyak biji kapuk reaksi yang dominan terjadi adalah *hydrodecarboxylation* [HDC] (Fan dkk, 2014).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

1. Impregnasi logam Zn dan Mo pada support HZSM-5 menghasilkan luas permukaan semakin menurun seiring meningkatnya rasio perbandingan Mo terhadap Zn yaitu luas permukaan katalis ZnMo/HZSM-5 rasio 1:3 lebih besar daripada ZnMo/HZSM-5 rasio 1:4. Hasil pola XRD pada masing-masing katalis dengan rasio Zn/Mo 1:3 dan 1:4 tidak merubah struktur kristalinitas HZSM-5, pola XRD tersebut dibuktikan dengan hasil SEM. Hasil EDX menunjukkan perbandingan logam Zn dan Mo yang diimpregnasikan ke dalam penyangga H-ZSM-5.
2. Loading logam 10% pada support HZSM-5 menunjukkan luas permukaan lebih kecil daripada loading logam 5%. Hasil pola XRD pada masing-masing katalis dengan loading logam 5% dan 10% tidak merubah struktur kristalinitas HZSM-5 serta menunjukkan puncak-puncak khas dari logam ZnO, Mo, MoO₂. Hasil EDX menunjukkan perbandingan logam Zn dan Mo yang diimpregnasikan ke dalam penyangga H-ZSM-5.
3. Semakin meningkatnya suhu, *yield* kerosene semakin meningkat pada katalis B2 [ZnMo/HZSM-5 10% (1:4)] dan A1 [ZnMo/HZSM-5 5% (1:3)]. Sedang *yield* gasoil semakin menurun seiring meningkatnya suhu rekasi pada tiap katalis.
4. Katalis B1 [ZnMo/HZSM-5 10% (1:3)] pada suhu 350 °C memiliki performa terbaik dalam menghasilkan *hydrocarbon*, yaitu *yield* gasoil 49,16% dan kerosene 14,48%.

V.2 Saran

1. Menambah waktu reduksi katalis, karena dengan waktu yang sudah masih terdapat oksida logam.

2. Menambah waktu reaksi, supaya produk gasoline terbentuk dari pemecahan / *cracking* rantai karbon yang lebih Panjang ke pendek dalam range *gasoline*.

DAFTAR PUSTAKA

- Andaka, G. (2008). *Hidrolisis Minyak Biji Kapuk dengan Katalisator Asam Klorida*, Jurnal Rekayasa Proses AKPRIND Yogyakarta, 45-48.
- Aslam, M., Konwar, L. J., Sarma, A. K., & Kothiyal, N. C. (2015). An investigation of catalytic hydrocracking of high FFA vegetable oils to liquid hydrocarbons using biomass derived heterogeneous catalysts. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 115, 401–409.
- Atsonios, K., Panopoulos, K. D., Nikolopoulos, N., Lappas, A. A., & Kakaras, E. (2018). Integration of hydroprocessing modeling of bio-liquids into flowsheeting design tools for biofuels production. *Fuel Processing Technology*, 171(April 2017), 148–161.
- Bartholomew, C. H. (1982). *Fundamentals of industrial toxicology. Food and Chemical Toxicology* (Vol. 20).
- Bezergianni, S., & Kalogianni, A. (2009). Hydrocracking of used cooking oil for biofuels production. *Bioresource Technology*, 100(17), 3927–3932.
- Collet, P., Spinelli, D., Lardon, L., Helias, A., Steyer, J.-P., et al., 2013. Life-cycle assessment of microalgal-based biofuels. In: Pandey, A., Lee, D.J., Chisti, Y., Soccol, C.R. (Eds.), *Biofuels from Algae*. Elsevier, Amsterdam, pp. 287e312.
- E. M. Flanigen, Molecular Sieve Materials: Their Synthesis, Properties and Characteristics, *Catal. Rev.* 26, 483 (1984). In : Richardson, J. T. (2015). *Principles of Catalyst Development. The effects of brief mindfulness intervention on acute pain experience: An examination of individual difference* (Vol. 1).
- Eller, Z., Varga, Z., & Hancsók, J. (2016). Advanced production process of jet fuel components from technical grade coconut oil with special hydrocracking. *Fuel*, 182, 713–720.
- Fan, K., Liu, J., Yang, X., & Rong, L. (2014). 6. Hydrocracking of Jatropha oil over Ni-H3PW12O40.pdf. Beijing: Elsevier Ltd.

- Fokaides, P.A., Polycarpou, P., 2013. Exploitation of olive solid waste for energy purposes. In: Poullikkas, A. (Ed.), *Renewable Energy, Economies, Emerging Technologies and Global Practices*. Nova Science Publishers, Inc., New York, pp. 163e178.
- Galadima, A., & Muraza, O. (2015). In situ fast pyrolysis of biomass with zeolite catalysts for bioaromatics/gasoline production: A review. *Energy Conversion and Management*, 105, 338–354.
- Hanafi, S. A., Elmelawy, M. S., Shalaby, N. H., El-Syed, H. A., Eshaq, G., & Mostafa, M. S. (2016). Hydrocracking of waste chicken fat as a cost effective feedstock for renewable fuel production: A kinetic study. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25(4), 531–537.
- Hancsók, J., Kasza, T., Kovács, S., Solymosi, P., & Holló, A. (2012). Production of bioparaffins by the catalytic hydrogenation of natural triglycerides. *Journal of Cleaner Production*, 34, 76–81.
- Handhoyo R., Prijatama H., Sofiyah S., dkk. (2005). Peningkatan Ratio Si/Al Zeolit Alam Mordenit sebagai Bahan Dasar Zeolit Katalis. *Jurnal Zeolit Indonesia*. Vol. 4;1.
- Ishihara, A., Fukui, N., Nasu, H., & Hashimoto, T. (2014). Hydrocracking of soybean oil using zeolite-alumina composite supported NiMo catalysts. *Fuel*, 134, 611–617.
- J. A. Rabo, Unifying Principles in Zeolite Chemistry and Catalysis, *Catal. Rev.* 23, 29311981 J. in: Richardson, J. T. (2015). *Principles of Catalyst Development. The effects of brief mindfulness intervention on acute pain experience: An examination of individual difference* (Vol. 1).
- Liew, W.H., Hassim, M.H., Ng, D.K.S., 2014. Review of evolution, technology and sustainability assessments of biofuel production. *Journal of Cleaner Production* 71, 11e29.
- Liu, C., Liu, J., Zhou, G., Tian, W., & Rong, L. (2013). A cleaner process for hydrocracking of jatropha oil into green diesel. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 44(2),

- 221–227.
- Liu, J., Fan, K., Tian, W., Liu, C., & Rong, L. (2012). Hydroprocessing of Jatropha oil over NiMoCe / Al₂O₃ catalyst. *International Journal of Hydrogen Energy*, 3–9.
- Levenspiel, O. (1999). *Chemical Reaction Engineering 3rd*. Wiley International Edition. John Wiley and sons. Inc. Canada.
- Luque, R., Lin, C. S. K., Wilson, K., & Clark, J. (2016). *Handbook of Biofuels Production (Second Edition) Processes and Technologies*.
- Pratiwi, 2014. Morfologi dan Taksonomi Randu (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn). Jakarta. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*.
- Richardson, J. T. (2015). *Principles of Catalyst Development. The effects of brief mindfulness intervention on acute pain experience: An examination of individual difference* (Vol. 1).
- Rowlands, W.N., Masters, A., Maschmeyer, T., 2008. The biorefinery - challenges, opportunities and an Australian perspective. *Bulletin of Science Technology & Society* 28, 149e158.
- Senthil Kumar, T., Senthil Kumar, P., & Annamalai, K. (2015). Experimental study on the performance and emission measures of direct injection diesel engine with Kapok methyl ester and its blends. *Renewable Energy*, 74, 903–909.
- Shi, N., Liu, Q. Y., Jiang, T., Wang, T. J., Ma, L. L., Zhang, Q., & Zhang, X. H. (2012). Hydrodeoxygenation of vegetable oils to liquid alkane fuels over Ni/HZSM-5 catalysts: Methyl hexadecanoate as the model compound. *Catalysis Communications*, 20, 80–84.
- Sonthalia, A., & Kumar, N. (2017). Hydroprocessed vegetable oil as a fuel for transportation sector: A review. *Journal of the Energy Institute*, 1–17.
- Speight, J. G., & El-Gendy, N. S. (2018). *Petroleum Composition and Properties. Introduction to Petroleum Biotechnology*.

- el Sebagai Sumber Energi Alternatif Pengganti Minyak di Indonesia. *Jurnal Pengembangan Bio-Fuel sebagai Substitusi Bahan Bakar Minyak*.
- Tambun R., Saptawaldi Rangga P., Nasution M. Anshori., Gusti Oktris N., (2016). Pembuatan *Biofuel* dari *Palm Stearin* dengan Proses Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis ZSM-5. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. Vol. 11;1
- Teixeira, C. M., Fréty, R., Barbosa, C. B. M., Santos, M. R., Bruce, E. D., & Pacheco, J. G. A. (2017). Mo influence on the kinetics of jatropha oil cracking over Mo/HZSM-5 catalysts. *Catalysis Today*, 279, 202–208.
- Tanneru, S. K., & Steele, P. H. (2015). Direct hydrocracking of oxidized bio-oil to hydrocarbons. *Fuel*, 154(4), 268–274.
- Veriansyah, B., Young, J., Ki, S., Hong, S., Jun, Y., Sung, J., ... Kim, J. (2012). Production of renewable diesel by hydroprocessing of soybean oil : Effect of catalysts. *Fuel*, 94, 578–585. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.10.057>
- Verma, D., Rana, B. S., Kumar, R., Sibi, M. G., & Sinha, A. K. (2015). Diesel and aviation kerosene with desired aromatics from hydroprocessing of jatropha oil over hydrogenation catalysts supported on hierarchical mesoporous SAPO-11. *Applied Catalysis A: General*, 490(1), 108–116.
- Vichaphund, S., Aht-Ong, D., Sricharoenchaikul, V., & Atong, D. (2015). Production of aromatic compounds from catalytic fast pyrolysis of Jatropha residues using metal/HZSM-5 prepared by ion-exchange and impregnation methods. *Renewable Energy*, 79(1), 28–37.
- Wang, W. C., & Tao, L. (2016). Bio-jet fuel conversion technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 801–822. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.016>
- Zhao X., Wei L., Cheng S., Kadis E., Cao Y., Boakye E., Gu Z., Julson J., 2016. Hydroprocessing of Carinata Oil for Hydrocarbon Biofuel over Mo-Zn/Al₂O₃. USA, *Journal Catalyst Today*
- Zhang, C., Garrison, T. F., Madbouly, S. A., & Kessler, M. R.

(2017). Recent advances in vegetable oil-based polymers and their composites. *Progress in Polymer Science*, 71, 91–143.

APPENDIKS A

HASIL PERHITUNGAN

1. Perhitungan Pembuatan Katalis Zn-Mo/HZSM-5

- Katalis Zn-Mo/HZSM-5 (loading 5% rasio 1:3)

Massa katalis total	= 7.00 gram
Loading Ni-Mo	= 5 % wt
Kadar HZSM-5	= 95 % wt
Rasio Ni-Mo	= 1 : 1
Massa logam total	= 0.05×7.00 gram
	= 0.35 gram
Massa HZSM-5	= 7.00 gram – 0.35 gram
	= 6.65 gram
Massa logam Zn	= $0.25 \times$ massa logam total
	= 0.25×0.35 gram
	= 0.0875 gram
Massa logam Mo	= $0.75 \times$ massa logam total
	= 0.75×0.35 gram
	= 0.2625 gram

Logam Zn dan Mo yang diimpregnasi ke dalam HZSM-5 adalah berupa senyawa $\text{N}_2\text{O}_6\text{Zn} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, sehingga dilakukan perhitungan massa senyawa sebagai berikut :

Mr $\text{N}_2\text{O}_6\text{Zn} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	= 297.4 gram/mol
Ar Zn	= 65.4 gram/mol
Kemurnian $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	= 98%
	= 0.98
Mr $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	= 1235.86 gram/mol
Ar Mo	= 95.94 gram/mol
Kemurnian $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	= 98%
	= 0.98

$$\begin{aligned}
 \text{Massa } \text{N}_2\text{O}_6\text{Zn} \cdot 6\text{H}_2\text{O} &= \frac{\text{Mr } \text{N}_2\text{O}_6\text{Zn} \cdot 6\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar Zn}} \times \text{massa logam Zn} \times \frac{100\%}{\% \text{N}_2\text{O}_6\text{Zn} \cdot 6\text{H}_2\text{O}} \\
 &= \frac{297.4 \text{ gram/mol}}{65.4 \text{ gram/mol}} \times 0.0875 \text{ gram} \times \frac{1}{0.98} \\
 &= 0.406018 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa}(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O} &= \frac{\text{Mr } (\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar Mo}} \times \text{massa logam Mo} \times \frac{100\%}{\%(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}} \\
 &= \frac{1235.86 \text{ gram/mol}}{95.94 \text{ gram/mol}} \times 0.2625 \text{ gram} \times \frac{1}{0.98} \\
 &= 3.44964 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Karena metode yang digunakan merupakan metode *incipient wetness impregnation*, maka volume larutan logam yang digunakan sama dengan volume pori HZSM-5 yang didapatkan dari data analisa BET.

Volume pori rata-rata HZSM-5 = 0.2712 cm³/gram

$$\begin{aligned}
 \text{Volume larutan logam} &= \text{massa HZSM-5} \times \text{volume pori rata-rata HZSM-5} \\
 &= 6.65 \text{ gram} \times 0.2712 \text{ cm}^3/\text{gram} \\
 &= 1.80348 \text{ ml}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama massa logam Zn dan Mo pada katalis Zn-Mo/HZSM-5 dengan variabel loading dan rasio yang berbeda dapat dilihat pada Tabel A.1 berikut :

Tabel A.1 Massa Logam Zn dan Mo pada Katalis Zn-Mo/HZSM-5 dengan Variabel Loading dan Rasio yang Berbeda

No	Jenis Katalis	Massa HZSM-5 (gram)	Massa Zn (gram)	Massa Mo (gram)	Massa $N_2O_6Zn.6H_2O$ (gram)	Massa $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ (gram)	Volume Larutan (ml)
1.	A1	6.6500	0.0875	0.2625	0.4060	3.4496	1.80348
2.	A2	6.6500	0.0700	0.2800	0.3248	3.6796	1.80348
3.	B1	6.3000	0.1750	0.5250	0.8120	6.8993	1.70856
4.	B2	6.3000	0.1400	0.5600	0.6496	7.3592	1.70856

Keterangan :

A1 = Zn-Mo/HZSM-5 *loading* logam 5%, rasio Zn-Mo = 1:3

A2 = Zn-Mo/HZSM-5 *loading* logam 5%, rasio Zn-Mo = 1:4

B1 = Zn-Mo/HZSM-5 *loading* logam 10%, rasio Zn-Mo = 1:3

B2 = Zn-Mo/HZSM-5 *loading* logam 10%, rasio Zn-Mo = 1:4

Selanjutnya dilakukan perhitungan konsentrasi larutan garam $N_2O_6Zn.6H_2O$ dan $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi } N_2O_6Zn.6H_2O &= \frac{\text{Massa } N_2O_6Zn.6H_2O}{\text{Mr } N_2O_6Zn.6H_2O} \times \frac{1000}{\text{volume larutan}} \\
 &= \frac{0.4060 \text{ gram}}{290.81 \text{ gram/mol}} \times \frac{1000}{1.80348 \text{ ml}} \\
 &= 0.75699 \text{ M}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi } (NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O &= \frac{\text{Massa } (NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O}{\text{Mr } (NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O} \times \frac{1000}{\text{volume larutan}} \\
 &= \frac{3.4496 \text{ gram}}{1235.86 \text{ gram/mol}} \times \frac{1000}{1.80348 \text{ ml}} \\
 &= 1.54807 \text{ M}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama konsentrasi larutan garam $N_2O_6Zn.6H_2O$ dan $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ dapat dilihat pada Tabel A.2 berikut :

Tabel A.2 Konsentrasi Larutan Garam $\text{N}_2\text{O}_6\text{Zn}.6\text{H}_2\text{O}$ dan $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}.4\text{H}_2\text{O}$

No.	Jenis Katalis	Konsentrasi $\text{N}_2\text{O}_6\text{Zn}.6\text{H}_2\text{O}$ (Molar)	Konsentrasi $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}.4\text{H}_2\text{O}$ (Molar)
1.	A1	0.7569	1.5481
2.	A2	0.6055	1.6513
3.	B1	1.5981	3.2682
4.	B2	1.2785	3.4860

Keterangan :

A1 = Zn-Mo/HZSM-5 *loading* logam 5%, rasio Zn-Mo = 1:3

A2 = Zn-Mo/HZSM-5 *loading* logam 5%, rasio Zn-Mo = 1:4

B1 = Zn-Mo/HZSM-5 *loading* logam 10%, rasio Zn-Mo = 1:3

B2 = Zn-Mo/HZSM-5 *loading* logam 10%, rasio Zn-Mo = 1:4

APPENDIKS B HASIL ANALISA

1. Data analisa BET katalis Ni-Mo/HZSM-5

Tabel B.1 Data Analisa Luas Permukaan, Diameter Pori dan Volume Pori Katalis Zn-Mo/HZSM-5

No.	Jenis Katalis	Luas Permukaan (m ² /gram)	Diameter Pori (nm)	Volume Pori (cm ³ /gram)
1.	H-ZSM-5	375.1210	2.4900	0.2712
2.	A1	307.8270	1.1528	0.1774
3.	A2	309.4960	1.1636	0.1801
4.	B1	258.9230	1.1899	0.1541
5.	B2	252.2000	1.1992	0.1512

Keterangan :

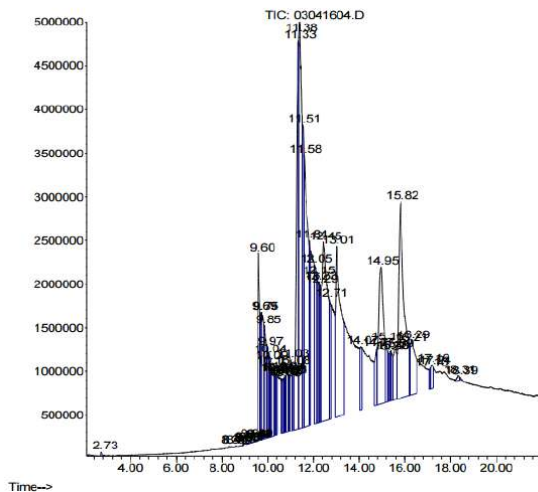
A1 = Zn-Mo/HZSM-5 *loading* logam 5%, rasio Zn-Mo = 1:3

A2 = Zn-Mo/HZSM-5 *loading* logam 5%, rasio Zn-Mo = 1:4

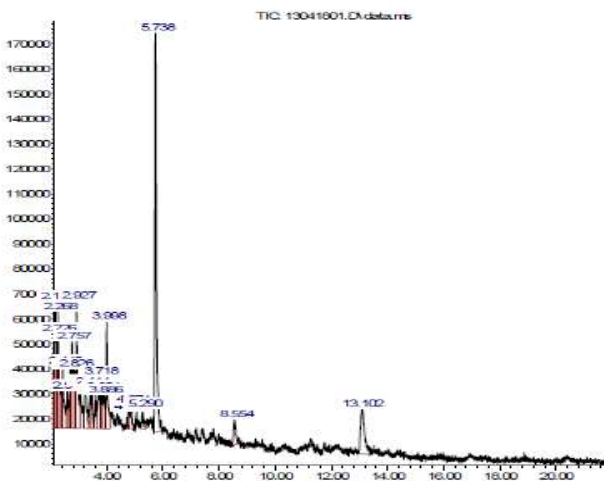
B1 = Zn-Mo/HZSM-5 *loading* logam 10%, rasio Zn-Mo = 1:3

B2 = Zn-Mo/HZSM-5 *loading* logam 10%, rasio Zn-Mo = 1:4

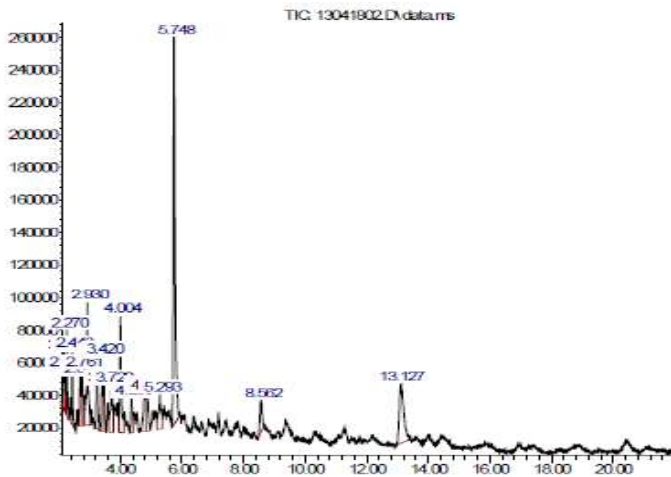
2. Data analisa GCMS produk *Biofuel Catalytic Hydrocracking*



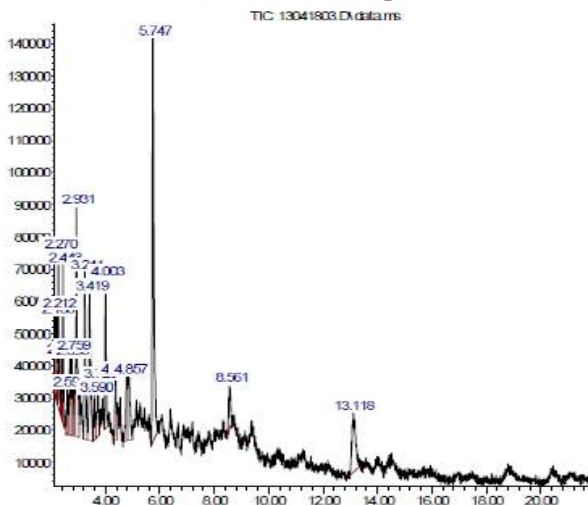
Gambar B.1 Grafik GCMS Minyak Biji Kapuk Randu



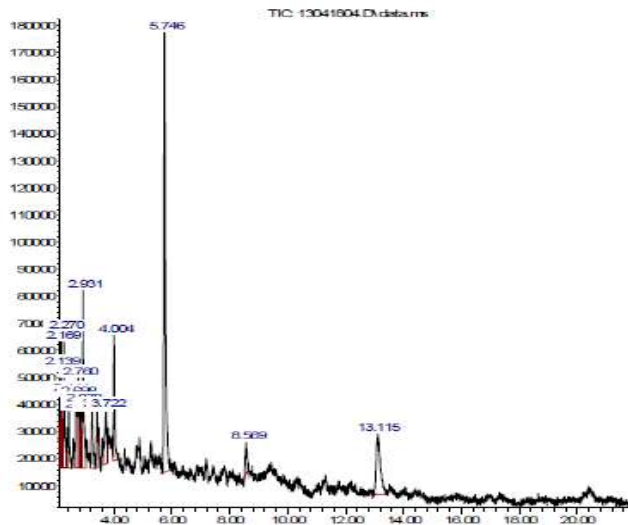
Gambar B.2 Grafik GCMS *Biofuel* menggunakan Katalis Zn-Mo/HZSM-5 loading 5%, rasio 1:3 pada suhu 350°C (A1)



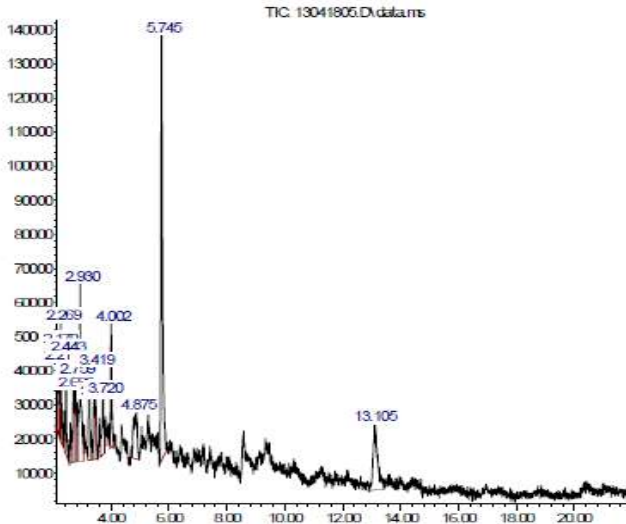
Gambar B.3 Grafik GCMS *Biofuel* menggunakan Katalis Zn-Mo/HZSM-5 *loading* 5%, rasio 1:3 pada suhu 375°C (A2)



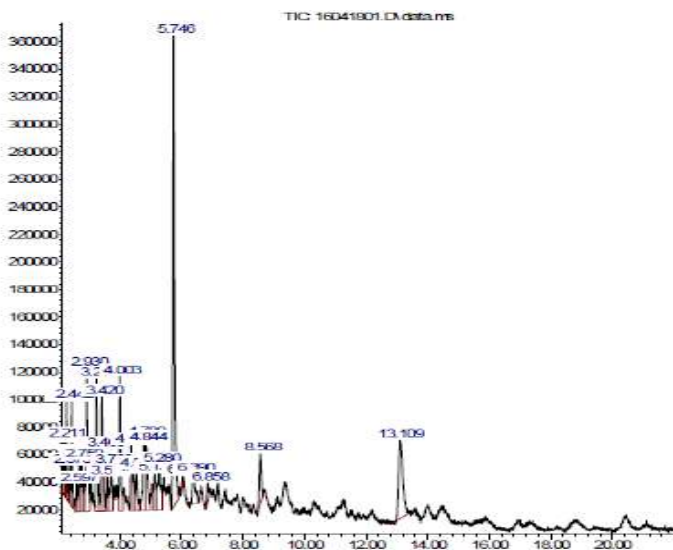
Gambar B.4 Grafik GCMS *Biofuel* menggunakan Katalis Zn-Mo/HZSM-5 *loading* 5%, rasio 1:3 pada suhu 400°C (A3)



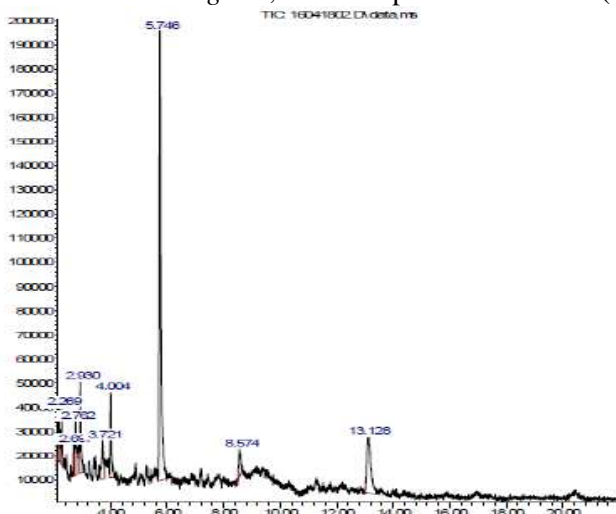
Gambar B.5 Grafik GCMS *Biofuel* menggunakan Katalis Zn-Mo/HZSM-5 loading 5%, rasio 1:4 pada suhu 350°C (B1)



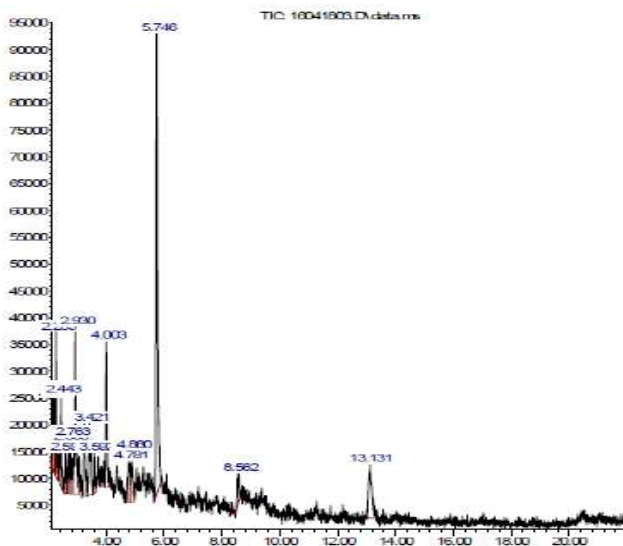
Gambar B.6 Grafik GCMS *Biofuel* menggunakan Katalis Zn-Mo/HZSM-5 loading 5%, rasio 1:4 pada suhu 375°C (B2)



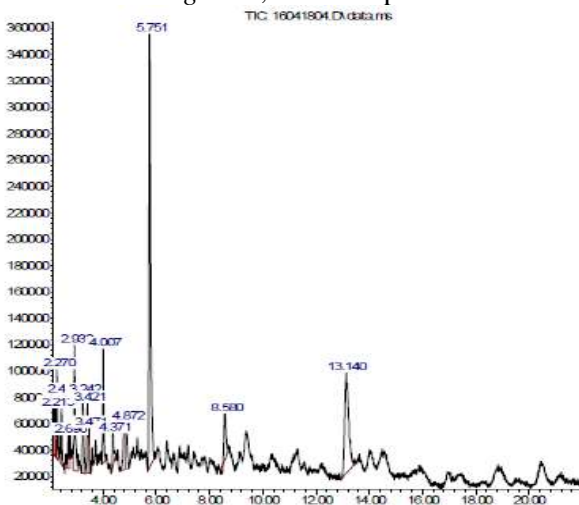
Gambar B.7 Grafik GCMS *Biofuel* menggunakan Katalis Zn-Mo/HZSM-5 *loading* 5%, rasio 1:4 pada suhu 400°C (B3)



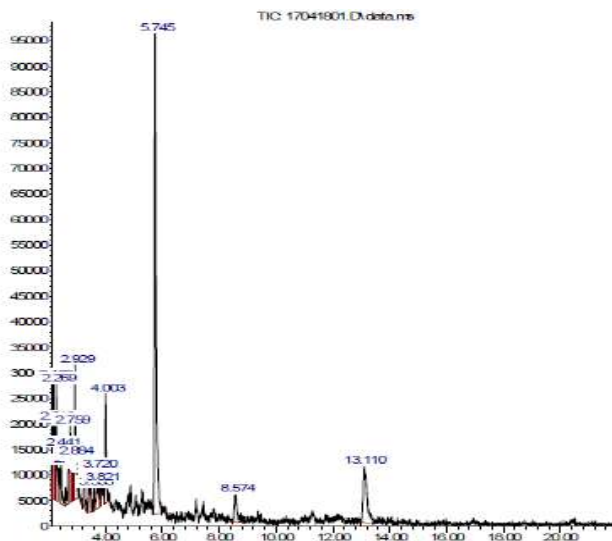
Gambar B.8 Grafik GCMS *Biofuel* menggunakan Katalis Zn-Mo/HZSM-5 *loading* 10%, rasio 1:3 pada suhu 350°C (C1)



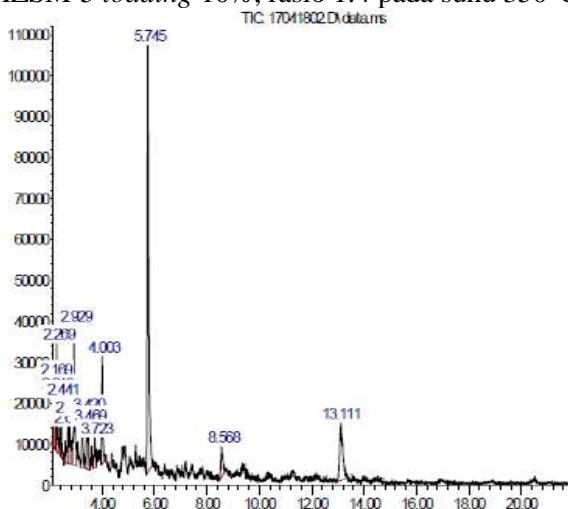
Gambar B.9 Grafik GCMS *Biofuel* menggunakan Katalis Zn-Mo/HZSM-5 loading 10%, rasio 1:3 pada suhu 375°C (C2)



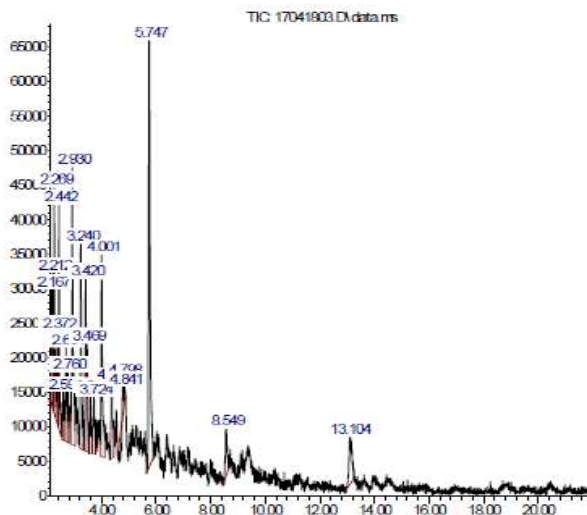
Gambar B.10 Grafik GCMS *Biofuel* menggunakan Katalis Zn-Mo/HZSM-5 loading 10%, rasio 1:3 pada suhu 400°C (C3)



Gambar B.11 Grafik GCMS *Biofuel* menggunakan Katalis Zn-Mo/HZSM-5 loading 10%, rasio 1:4 pada suhu 350°C (D1)



Gambar B.12 Grafik GCMS *Biofuel* menggunakan Katalis Zn-Mo/HZSM-5 loading 10%, rasio 1:4 pada suhu 375°C (D2)



Gambar B.13 Grafik GCMS *Biofuel* menggunakan Katalis Zn-Mo/HZSM-5 *loading* 10%, rasio 1:4 pada suhu 400°C (D3)

APPENDIKS C

PERHITUNGAN *YIELD* DAN KONVERSI *BIOFUEL*

1. Perhitungan *Yield Biofuel*

- Perhitungan massa *biofuel* hasil *catalytic hydrocracking* menggunakan katalis Zn-Mo/HZSM-5 loading 5%, rasio 1:3 pada suhu 350°C (A1)

$$\begin{aligned}
 \text{Volume minyak biji kapuk randu} &= 200 \text{ ml} \\
 \text{Densitas minyak biji kapuk randu} &= 0.928 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{Massa minyak mula-mula} &= 0.928 \text{ gram/cm}^3 \times 200 \text{ ml} \\
 &= 185.6 \text{ gram} \\
 \text{Massa botol kosong} &= 301.2317 \text{ gram} \\
 \text{Massa botol kosong} + \text{biofuel} &= 422.2583 \text{ gram} \\
 \text{Massa biofuel} &= 422.2583 \text{ gram} - 301.2317 \text{ gram} \\
 &= 121.0266 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama massa *biofuel* dapat dilihat pada **Tabel C.1** berikut :

Tabel C.1 Massa *Biofuel* Hasil *Catalytic Hydrocracking*
Menggunakan Katalis Zn-Mo/HZSM-5

No.	Jenis Katalis	Suhu (°C)	Massa Botol Kosong (gram)	Massa Botol Kosong + <i>Biofuel</i> (gram)	Massa <i>Biofuel</i> (gram)
1.	A1	350	301.2317	422.2583	121.0266
		375	297.8811	400.0896	102.2085
		400	294.771	396.142	101.371
2.	A2	350	294.4219	410.8907	116.4688
		375	297.3397	411.0029	113.6632
		400	298.1249	373.0837	74.9588
3.	B1	350	294.9307	427.8675	132.9368
		375	294.1041	402.6032	108.4991
		400	299.6048	381.3958	81.791
4.	B2	350	298.7201	408.009	109.2889
		375	296.7845	411.8772	115.0927
		400	297.1083	400.6528	103.5445

Keterangan :

A1 = Zn-Mo/HZSM-5 loading logam 5%, rasio Zn-Mo = 1:3

A2 = Zn-Mo/HZSM-5 loading logam 5%, rasio Zn-Mo = 1:4

B1 = Zn-Mo/HZSM-5 loading logam 10%, rasio Zn-Mo = 1:3

B2 = Zn-Mo/HZSM-5 loading logam 10%, rasio Zn-Mo = 1:4

- Perhitungan nilai *yield gasoline*, *kerosene* dan *gasoil* dari *biofuel* hasil *catalytic hydrocracking* menggunakan katalis Zn-Mo/HZSM-5 loading 5%, rasio 1:3 pada suhu 350°C (A1) berdasarkan hasil analisa GCMS :

Kadar *gasoline* (%Gsn) = 0%

Kadar *kerosene* (%Krn) = 38.80%

Kadar *gasoil* (%Gsl) = 32.56%

Berdasarkan Persamaan 3.1 – 3.3, maka :

$$Yield\ gasoline = \frac{\% Gsn \times \text{massa total produk}}{\text{massa umpan}} \times 100\%$$

$$Yield\ kerosene = \frac{\% Krn \times \text{massa total produk}}{\text{massa umpan}} \times 100\%$$

$$Yield\ gasoil = \frac{\% Gsl \times \text{massa total produk}}{\text{massa umpan}} \times 100\%$$

Sehingga :

$$Yield\ gasoline = \frac{0 \times 121.0266}{185.6} \\ = 0.0000\%$$

$$Yield\ kerosene = \frac{38.80 \times 121.0266}{185.6} \\ = 25.30\%$$

$$Yield\ gasoil = \frac{32.56 \times 121.0266}{185.6} \\ = 21.23\%$$

Dengan cara yang sama nilai *yield gasoline*, *kerosene* dan *gasoil* dapat dilihat pada **Tabel C.2** berikut :

Tabel C.2 Nilai *Yield Gasoline*, *Kerosene* dan *Gasoil* dari *Biofuel* Hasil *Catalytic Hydrocracking* Menggunakan Katalis Zn-Mo/HZSM-5

No.	Jenis Katalis	Suhu (°C)	%Gsn	%Krn	%Gsl	Yield Gasoline (%)	Yield Kerosene (%)	Yield Gasoil (%)
1.	A1	350	0.00	38.80	32.56	0.00	25.30	21.23
		375	0.00	54.79	42.19	0.00	30.17	23.23
		400	0.00	60.30	30.45	0.00	32.93	16.63
2.	A2	350	0.00	32.85	48.59	0.00	20.61	30.49
		375	0.00	44.04	38.77	0.00	26.97	23.74
		400	1.92	63.40	34.39	0.78	25.61	13.89
3.	B1	350	0.00	20.22	68.63	0.00	14.48	49.16
		375	1.57	50.33	40.20	0.92	29.42	23.50
		400	1.74	37.86	55.92	0.77	16.68	24.64
4.	B2	350	0.00	31.15	45.45	0.00	18.34	26.76
		375	0.00	36.92	52.15	0.00	22.89	32.34
		400	0.00	68.69	22.51	0.00	38.32	12.56

2. Perhitungan Konversi *Biofuel*

- Perhitungan nilai konversi dari *biofuel* hasil *catalytic hydrocracking* menggunakan katalis Zb-Mo/HZSM-5 loading 5%, rasio 1:3 pada suhu 350°C (A1) berdasarkan hasil analisa GCMS :

Massa trigliserida reaktan = 100

Massa trigliserida produk = 14.76

Berdasarkan Persamaan 3.4, maka :

$$\text{Konversi} = \frac{\text{massa trigliserida reaktan} - \text{massa trigliserida produk}}{\text{massa trigliserida reaktan}} \times 100\%$$

$$\text{Konversi} = \frac{100 - 14.76}{100} \times 100\%$$

Konversi = 92.05%

Dengan cara yang sama nilai konversi *biofuel* dapat dilihat pada **Tabel C.3** berikut :

Tabel C.3 Nilai Konversi *Biofuel* Hasil *Catalytic Hydrocracking* Menggunakan Katalis Zn-Mo/HZSM-5

No.	Jenis Katalis	Suhu (°C)	Massa Trigliserida Produk	Konversi (%)
1.	A1	350	14.76	92.05
		375	0	100
		400	0	100
2.	A2	350	11.08	94.03
		375	0	100
		400	0	100
3.	B1	350	11.13	94.00
		375	0	100
		400	0	100
4.	B2	350	15.95	91.41
		375	0	100
		400	0	100

Keterangan :

A1 = Zn-Mo/HZSM-5 *loading* logam 5%, rasio Zn-Mo = 1:3

A2 = Zn-Mo/HZSM-5 *loading* logam 5%, rasio Zn-Mo = 1:4

B1 = Zn-Mo/HZSM-5 *loading* logam 10%, rasio Zn-Mo = 1:3

B2 = Zn-Mo/HZSM-5 *loading* logam 10%, rasio Zn-Mo = 1:4

BIODATA PENULIS



Yahya Adi, lahir di Kediri, 01 Januari 1996. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal yang dimulai di MI YPSM Punjul Kediri (2002-2008), dilanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 2 Pare (2008-2011), kemudian dilanjutkan pendidikan menengah atas di SMA 2 Pare (2011–2014). Penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi dengan mengambil jurusan S1 Teknik Kimia di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada akhir studi penulis memilih laboratorium Teknik Reaksi Kimia untuk menyelesaikan tugas akhir dan skripsi. Bersama partner dan dibawah bimbingan Ir. Ignatius Gunardi, M.T dan Firman Kurniawansyah, S.T, M. Eng, Sc, Ph.D penulis berhasil menyelesaikan Pra-Desain Pabrik “Pembuatan Sirup Guklosa dari Tepung Tapioka dengan Proses Hidrolisa Enzim” dan skripsi berjudul “Konversi Minyak Biji Kapuk (*Ceiba pentandra*) menjadi Biofuel melalui Proses *Hydrocracking* Menggunakan Katalis Logam Ganda Berbasis HZSM-5”. Penulis berhasil menyelesaikan pendidikan tingginya pada tahun 2018.

Email: yahya.adi99@gmail.com

BIODATA PENULIS



Putri Ragefa Arumingsari, lahir di Kediri, 03 Juli 1996. Merupakan anak tunggal. Penulis menempuh pendidikan formal yang dimulai di SD Negeri 01 Klegen Madiun (2002-2008), dilanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 02 Madiun (2008-2011), kemudian dilanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 02 madiun (2011–2014). Penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi dengan mengambil jurusan S1 Teknik Kimia di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada akhir studi penulis memilih laboratorium Teknik Reaksi Kimia untuk menyelesaikan tugas akhir dan skripsi. Bersama partner dan dibawah bimbingan_Ir. Ignatius Gunardi, M.T dan Firman Kurniawansyah, S.T, M. Eng, Sc, Ph.D penulis berhasil menyelesaikan Pra-Desain Pabrik “Pembuatan Sirup Guklosa dari Tepung Tapioka dengan Proses Hidrolisa Enzim” dan skripsi berjudul “Konversi Minyak Biji Kapuk (*Ceiba pentandra*) menjadi Biofuel melalui Proses *Hydrocracking* Menggunakan Katalis Logam Ganda Berbasis HZSM-5”. Penulis berhasil menyelesaikan pendidikan tingginya pada tahun 2018.

Email: putri.ragefa@gmail.com